Haalbaarheid van het aanlanden van zeesla uit de Waddenzee

Randvoorwaarden en richtlijnen voor het oprichten van een commerciële aanvoerstroom

Auteur(s): Robbert G. Jak, Alexander Lubsch, Ulrika Beier

Wageningen University &
Research rapport C048/20

WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Haalbaarheid van het aanlanden van zeesla uit de Waddenzee

Randvoorwaarden en richtlijnen voor het oprichten van een commerciële aanvoerstroom

Auteur(s): Robbert G. Jak, Alexander Lubsch, E. Ulrika Beier

Wageningen Marine Research
Den Helder, mei 2020

VERTROUWELIJK nee

Wageningen Marine Research rapport C048/20

Keywords: Zeesla, Waddenzee, visserij.

Opdrachtgever: Consortium Port4Innovation
T.a.v.: Maritime Campus Netherlands, M.A.C. Doedens
Willemsoord 30
1781AS Den Helder

Dit rapport is gratis te downloaden van https://doi.org/10.18174/522760
Wageningen Marine Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

Wageningen Marine Research is ISO 9001:2015 gecertificeerd.

© Wageningen Marine Research

Wageningen Marine Research, instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research, hierbij vertegenwoordigd door Dr. M.C.Th. Scholten, Algemeen directeur

KvK nr. 09098104,
WMR BTW nr. NL 8113.83.696.B16.
Code BIC/SWIFT address: RABONL2U
IBAN code: NL 73 RABO 0373599285

Wageningen Marine Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor gevolgschade, noch voor schade welke voortvloeit uit toepassingen van de resultaten van werkzaamheden of andere gegevens verkregen van Wageningen Marine Research. Opdrachtgever vrijwaart Wageningen Marine Research van aanspraken van derden in verband met deze toepassing.
Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag weergegeven en/of gepubliceerd worden, gefotokopieerd of op enige andere manier gebruikt worden zonder schriftelijke toestemming van de uitgever of auteur.

A_4_3_1 V30 (2020)

Inhoud

Samenvatting **5**

1 Inleiding **6**

1.1 Aanleiding 6
1.2 Doel 6
1.3 Vragen 6
1.4 Aanpak 7

2 Ecologische haalbaarheid **8**

2.1 Zeewier en zeesla 8
2.2 Verspreiding van zeesla 9
2.3 Seizoensdynamiek en ecologische rol van zeesla 12
2.4 Bevisbare hoeveelheden zeesla 14
2.5 Conclusies 15

3 Regelgeving **16**

3.1 Natuurgebied Waddenzee 16
3.2 Visserij 16
3.3 Kwaliteitseisen 17
3.4 Certificeringen en keurmerken 19
3.5 Conclusies 19

4 Technische (on)mogelijkheden **21**

4.1 Bijvangst garnalenvisserij 21
4.2 Bijvangst staand want visserij 22
4.3 Aangespoeld zeewier 22
4.4 Verwerking 23
4.5 Kosten van winning 23
4.5.1 Aanlanding 24
4.6 Conclusies 24

5 Toepassingen **25**

5.1 Mogelijke markten en producten 25
5.1.1 Zeesla als bron voor biobrandstof 27
5.1.2 Composteren van zeesla 28
5.1.3 Zeesla als veevoer 29
5.1.4 Zeesla als voedsel 29
5.2 Conclusies 30

6 Conclusies en aanbevelingen **31**

7 Kwaliteitsborging **33**

Literatuur **34**

Bijlage 1 Zeewieren inde Waddenzee **39**

Bijlage 2 Verzameld zeesla Pilot **40**

Pilot-vistocht 40
DFS survey 40

Bijlage 3 Correlatie zeesla en vis **43**

Samenvatting

Er is een toenemende interesse in het telen en verwerken van zeewieren in tal van producten. Ook in Nederland zijn in toenemende mate initiatieven om zeewieren te telen op open zee en in de Zeeuwse delta. Vooralsnog zijn de geteelde hoeveelheden beperkt. Daarom is in het huidige project onderzocht of zeesla uit de Waddenzee een al dan niet tijdelijke aanvoerstroom van zeewier in Noord-Holland op gang kan brengen om producten te ontwikkelen. Zeesla is het mest voorkomende zeewier in de Waddenzee en is de benaming van een aantal bladvormige soorten groenwier van het geslacht *Ulva*. Met name in de (na)zomer kan het in het voedselrijke water van de Waddenzee in zulke grote hoeveelheden aanwezig zijn dat het de garnalen visserij hindert, doordat de netten er mee verstopt raken. Dit biedt echter ook de mogelijkheid om juist visserij in te zetten voor het verzamelen van zeesla en zo in de vraag naar dit zeewier te kunnen voldoen.
Voor de haalbaarheid van deze visserij op zeesla zijn een aantal vragen te beantwoorden op technisch-economisch vlak, over de kwaliteit van het zeewier en de ecologische duurzaamheid van zeesla uit het natuurgebied Waddenzee. Een aantal van deze belangrijke aspecten zijn hier onderzocht.
Bij aanvang van het project was onbekend wat de aanwezige biomassa en verspreiding van zeesla in de Waddenzee was. Gedurende twee jaar is zeesla verzameld als toevoeging aan de zogenaamde Demersal Fish Survey waarmee de verspreiding van bodemvis in de Waddenzee jaarlijks door Wageningen Marine Research wordt gemonitord. Omdat deze in de nazomer-herfst plaats vindt is een goed beeld ontstaan van de bevisbare hoeveelheid en de inspanning de geleverd moet worden voor visserij. Over de gehele Waddenzee genomen is er in de orde van 3 miljoen kg nat zeesla aanwezig. Op plaatsen met zeer hoge dichtheden, aan de randen van de geulen, kan een kubieke meter (ca. 250 kg natgewicht) binnen 10 minuten gevangen worden. Het zeesla bevat echter ook andere organismen, waaronder garnalen en kleine vis, en ook slib en zand. Dit betekent dat het zeesla aan boord gesorteerd en gewassen moet worden voordat het aan boord opgeslagen kan worden. Omdat zeesla dan kan gaan rotten is het zaak om het snel aan te landen voor verdere verwerking (drogen). Via de visafslagen is er tot nog toe geen zeesla verhandeld.
Economisch gezien blijkt dat de voor zeesla geboden prijzen niet concurrerend zijn met die van garnalen. Hierdoor is er onder vissers weinig interesse in het gestructureerd opvissen en aanleveren van zeesla. Voor het opzetten van een commerciële aanvoerstroom is het belangrijk dat er een gestructureerde aanvoer is van zeesla met een constante kwaliteit. Hieraan kan niet goed worden voldaan. Alleen in het najaar zijn hoeveelheden interessant voor winning.
In principe kan zeesla verwerkt worden tot zeer veel verschillende producten, waaronder voedsel(componenten), veevoer, biobrandstof en meststof voor de landbouw. Hierbij is de kwaliteit van het zeesla van belang. De kwaliteit bestaat uit de samenstelling van componenten van het zeewier (en de constantheid daarvan) en ook van eventuele schadelijke stoffen die aanwezig kunnen zijn.
De Waddenzee is een beschermd natuurgebied. De regelgeving omtrent een eventuele visserij op zeesla is niet duidelijk. Zeewier is niet beschermd en zou als bijvangst van de garnalenvisserij mogen worden aangeland. Bij een gerichte visserij zou aanvullende wetgeving kunnen worden ontwikkeld. Voor eventuele certificering van het zeewier dient aangetoond te worden dat de visserij ecologisch duurzaam en sociaal verantwoord is. Op basis van wetenschappelijke literatuur lijkt de rol van zeesla als voedselbron voor natuurlijke organismen zeer beperkt. Onduidelijk is of concentraties van zeesla een leefomgeving vormen voor bepaalde diersoorten, zoals vis of kreeftachtigen. Daardoor kan nog geen uitspraak worden gedaan of het verwijderen van grote hoeveelheden zeesla een positief of negatief effect heeft op het ecosysteem van de Waddenzee.
Geconcludeerd kan worden dat ondanks de grote beschikbaarheid en vangbaarheid van zeesla er teveel beperkingen zijn aan om een visserij op zeesla economisch levensvatbaar te maken. Deze beperking zijn zowel technisch, economisch, juridisch als ecologisch van aard. Op korte termijn lijken deze niet oplosbaar waardoor de toekomstkansen voor een grootschaligere teelt van zeesla op zee of land groter zijn.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Er is de laatste jaren een groeiende interesse in de productie en verwerking van zeewier in Nederland en de ons omringende landen. De Europese Unie ziet in haar Blue Growth strategy uit 2012 een rol weggelegd voor zeewier als mariene producent van eiwit voor toepassing als voedsel en ander gebruik. Naast voedsel en voedsel-additieven zijn er ook mogelijkheden van toepassing als diervoeder, extractie van groene waardevolle inhoudsstoffen en voor bio-energie. Vooralsnog blijkt de productie van zeewier op de Noordzee niet haalbaar te zijn bij de huidige prijs en omvang van de (installatie) kosten (Van den Burg et al., 2016). Er zijn technische verbeteringen nodig om de kosten te reduceren en een verhoging van de opbrengsten door bijvoorbeeld succesvolle marketing van voedselproducten en de bioraffinage van waardevolle componenten (Van den Burg et al., 2016).

Om tijdelijk aan de vraag naar zeewier te kunnen voldoen kan de oogst van wild zeewier in de Nederlandse wateren wellicht perspectief bieden voor het ontwikkelen van waardeketens. Er is nog weinig inzicht in het potentiële volume en de (technische) mogelijkheden om wild gevangen zeewier op een rendabele manier te oogsten en te verwerken. Ook over de kwaliteit en samenstelling en over de variatie in deze kenmerken is nog niet veel bekend. Vanuit de visserij is bekend dat met name in warme zomermaanden grote hoeveelheden zeesla (*Ulva sp.*) worden opgevist als bijvangst van garnalenvisserij (Veenstra en Hoek, 2016). In de onderhavige studie zal verder worden onderzocht wat de haalbaarheid is van de oogst van zeesla vanuit het perspectief van de visser, regelgeving, techniek en het ecosysteem van de Waddenzee.

1.2 Doel

In dit rapport wordt verkend wat er bekend is over wild zeewier in de Nederlandse Waddenzee en wat de mogelijkheden zouden kunnen zijn om wild zeewier te oogsten, aan te landen en tot producten te verwerken. Relevante kennisvragen die onderzocht dienen te worden zijn:

- Wat is de potentiële zeewier productie in de Nederlandse Waddenzee? Hoeveel zeewier zou in potentie aangeland kunnen worden, welke soorten, welke seizoenen en van welke locaties?
- Wat is de invloed van seizoen en locatie op de hoeveelheid en kwaliteit van wild geoogst zeewier?
- Is het mogelijk wild zeewier uit de Nederlandse wateren te oogsten, aan te landen en commercieel te benutten?
- Wat zijn de technische en economisch obstakels en randvoorwaarden?
- Is er een markt voor wild zeewier? Hoe groot is die markt? Wie zijn de afnemers? Wat zijn de toepassingen? Wat zijn de prijzen? Wat zijn de eisen?
- Wat zijn de consequenties voor ecosystemen van het onttrekken van grote hoeveelheden zeewier?

1.3 Vragen

De haalbaarheid van het verzamelen van wild zeewier wordt hier benaderd vanuit de drie P's voor duurzame ontwikkeling: People (mensen), Planet (planeet, milieu), Profit (opbrengst, winst). Onderzocht moet worden of er draagkracht is bij belanghebbenden en het publiek. Hier wordt aangenomen dat dit het geval is indien er economisch rendabel en ecologisch verantwoorde geoogst kan worden. Daarnaast zijn er juridische en technologische randvoorwaarden waaraan voldaan moet worden. Op basis hiervan zijn onderstaande vragen gedefinieerd.

Ecologische vragen: Welke zeewieren komen in het ecosysteem van de Waddenzee voor, hoeveel en wanneer? Wat zijn de mogelijke effecten op het ecosysteem van het vangen van zeewier?
Juridische vragen: Zijn er vergunningen nodig voor het vangen van zeewier en aan welke kwaliteitseisen moeten (producten van) zeewier?
Technische en economische vragen: Wat is de vangbaarheid en wat is de mogelijke omvang van oogst te opzichte van de inspanning die geleverd moet worden om zeewier te vangen? Welke kosten worden gemaakt bij het verzamelen van zeewier uit zee?

1.4 Aanpak

De beantwoording van de vragen is onderzocht met het verzamelen van zeewier in de Waddenzee in combinatie met literatuuronderzoek en gesprekken met vissers en experts.

2 Ecologische haalbaarheid

De haalbaarheid van de vangst van zeesla hangt mede af van de potentiële vangsthoeveelheden. Ter inleiding wordt hieronder eerst beschreven wat onder zeesla verstaan wordt. Daarna wordt ingegaan op de hoeveelheid die in de Waddenzee aanwezig is en potentieel gevist zou kunnen worden.

2.1 Zeewier en zeesla

In de Waddenzee komen veel soorten zeewier voor. Door Gittenberger et al. (2015) werden verschillende habitats verspreid over de gehele Waddenzee en met verschillende methoden bemonsterd en werden 72 soorten zeewier geïdentificeerd. De flora van de Nederlandse zeewieren van Stegenga en Mol (1983) behandelt ca. 250 soorten zeewieren, zowel de inheemse soorten als soorten die niet in Nederlandse wateren groeien maar wel op het strand aanspoelen. In een recent door Bos et al (2016) uitgevoerde inventarisatie van de biodiversiteit van de Noordzee staan bijna 200 soorten, waarvan tenminste 17 exoot.
Slechts een klein aantal zeewiersoorten is in de Waddenzee wijd verspreid en bereikt een hoge biomassa. Op harde substraten gaat het vooral om bruinwieren, waaronder zee-eik (*Fucus* spp.) en knotswier (*Ascophyllum nodosum*) en roodwieren, waaronder Iers mos (*Chondrus crispus*), kernwier (*Mastocarpus stellatus*), purper- en navelwier (*Porphyra* sp.) en rood hoorntjeswier (*Ceramium* sp.). Ook komen veel draadvormige soorten groenwieren voor op harde substraten. In de geulen en op de platen van de Waddenzee gaat het vooral om het groene "zeesla" (*Ulva* spp.) en rode soorten knoopwier (*Gracilaria* spp.).

Omdat dit rapport zich richt op zeesla zal hier kort uiteengezet worden wat in dit rapport precies onder zeesla wordt verstaan. Zeesla wordt gebruikt als naam voor verschillende bladvormige (platte) soorten groenwier van het geslacht *Ulva*. In de Waddenzee zijn door Gittenberger et al. (2015) een 13-tal soorten *Ulva* aangetroffen. Een groot deel hiervan zijn echter soorten "darmwier" die voorheen deel uit maakten van het geslacht *Enteromorpha*. De "echte" zeesla-soorten zijn:

- *Ulva* cf *lactuca* Zeesla (s.l.) Linnaeus
- *Ulva curvata* Gewelfd zeesla (Kützing) De Toni
- *Ulva pertusa* (*australis*) Geperforeerd zeesla Kjellman
- *Ulva pseudocurvata* Gekromde zeesla Koeman & Hoek
- *Ulva rigida* Stijve zeesla C.Agardh

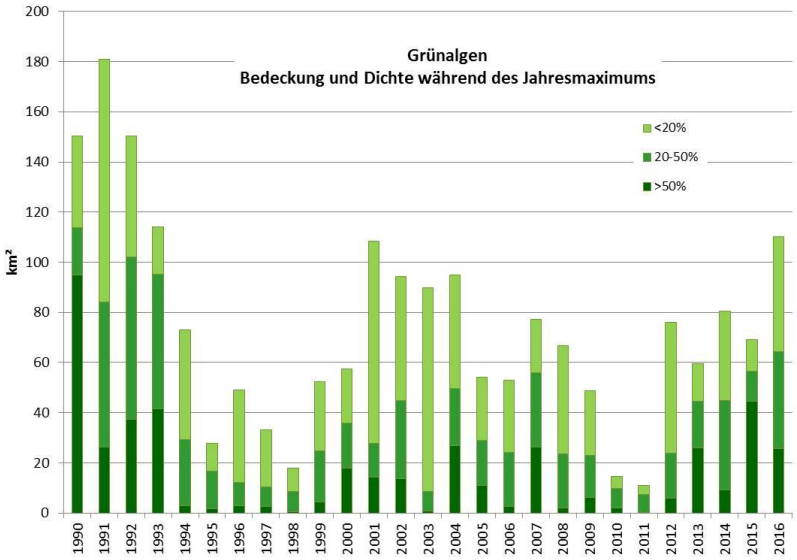
Deze soorten zijn op het oog moeilijk te onderscheiden (Figuur 1) en vaak alleen op basis van genetische analyse op soort te brengen. Dit geldt met name voor *Ulva lactuca*, waarvan lang gedacht werd dat het de meest voorkomende soort was. Door Gittenberger et al. (2015) zijn in de Waddenzee echter vooral *Ulva curvata* en *Ulva pertusa* aangetroffen. De laatste soort is geen inheemse soort, maar heeft zich hier goed kunnen vestigen.

Omdat de soorten naast elkaar aanwezig zijn, moeilijk onderscheidbaar zijn en waarschijnlijk een min of meer overeenkomende ecologie hebben wordt in dit rapport geen onderscheid gemaakt in verschillende soorten; hier worden alle bladvormige soorten *Ulva* als zeesla aangeduid.

Figuur 1 *Verscheidenheid aan zeesla, verzameld uit de Waddenzee.*

2.2 Verspreiding van zeesla

In het Nederlandse deel van de Waddenzee vind nog geen structurele monitoring plaats van zeewier. Bij aanvang van deze studie was er dus geen inzicht in de verspreiding en biomassa van zeesla in de Nederlandse Waddenzee. In Duitsland wordt zeewier wel gemonitord, maar dan op de droogvallende platen vanuit een vliegtuig. Hierbij wordt een inschatting van het bedekkingspercentages (oogwaarnemingen) gedurende het groeiseizoen gemaakt (NLWKN, 2017). De bedekking wordt vervolgens in kaart gebracht, zie Figuur 2.



Figuur 2 Jaarmaximum van de bedekking van wadplaten met groenalgen (km^2) aan de kust van Nedersaksen tussen 1990 -2016 (uit: NLWKN, 2016).

In het kader van dit project is begonnen met het opzetten van een monitoring voor zeesla, door gebruik te maken van een reeds bestaand monitoringsprogramma voor bodemvis. Met een pilotbemonstering, kort beschreven in Bijlage 1, is ervaring opgedaan met het verzamelen van zeesla als bijvangst bij de garnalenvisserij. Vervolgens is een uitgebreidere survey uitgevoerd over de gehele Waddenzee.

In 2018 is als onderdeel van de Demersal Fish Survey (DFS) van Wageningen Marine Research een eerste inventarisatie uitgevoerd naar de verspreiding en de hoeveelheden zeesla in de Waddenzee, om daaruit een inschatting te kunnen maken van vangbare hoeveelheden. In 2019 is de inventarisatie op

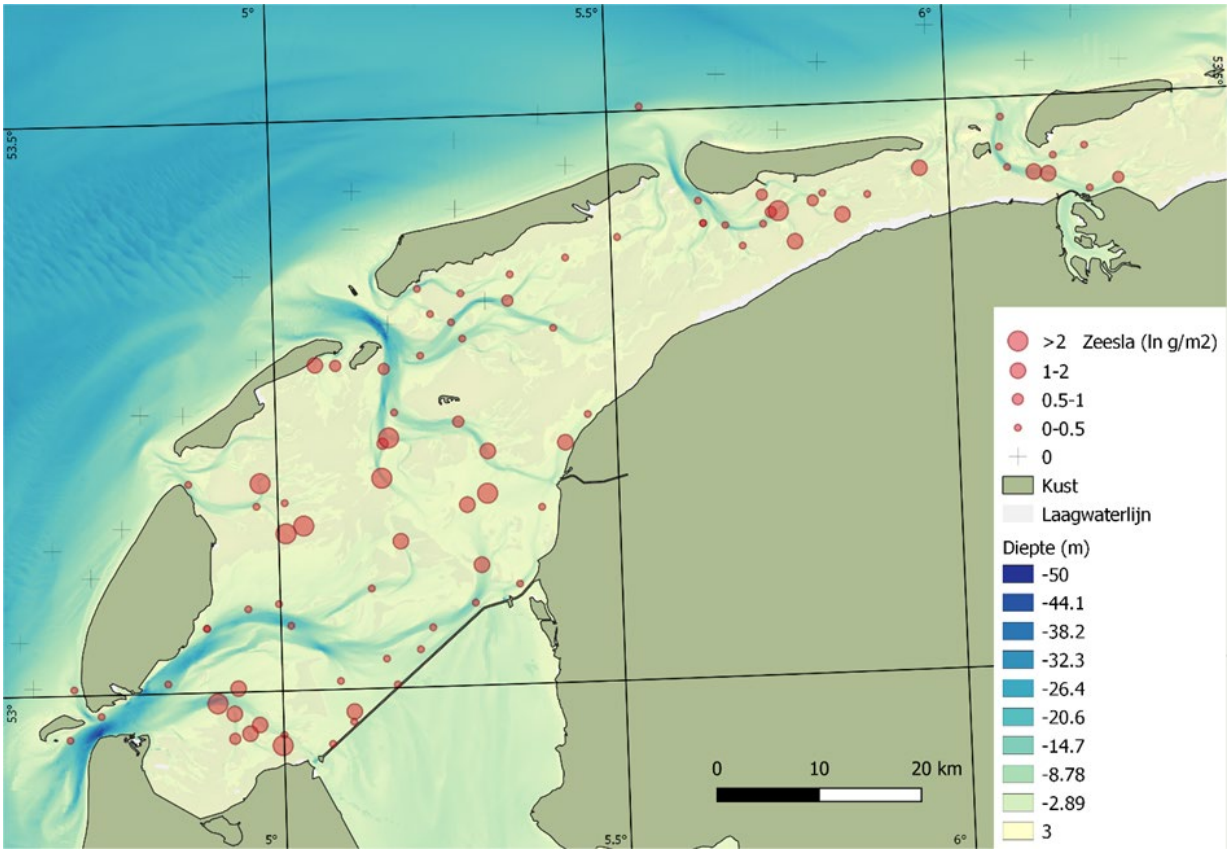
overeenkomende wijze voortgezet. In tegensteling tot de Duitse monitoring vindt de DFS niet plaats op de platen maar juist in de geulen. De monitoring wordt jaarlijks uitgevoerd tussen augustus en oktober, de periode waarin de hoeveelheden zeesla doorgaans het hoogst zijn. De monitoring is in eerste instantie gericht op vis (Tulp et al., 2008) waarbij gebruik wordt gemaakt van een kleine garnalenboomkor van 3 m breedte met een grondpees uitgerust met rollers en één wekkerketting. De maaswijdte van het net is 20 mm en vistrekken worden gemaakt gedurende 15 minuten in de richting van de getijde stroom bij een snelheid van 2-3 knopen. Aan boord worden de aantallen vis, ongewervelden en het volume zeesla geschat. Bij hoge dichtheden worden hoeveelheden in deelmonsters bepaald. Voor zeesla is uitgegaan van 2,5 kg nat gewicht per emmer van 12 liter waarvan 20% drooggewicht, gebaseerd op de resultaten van de pilot zoals beschreven in Bijlage 1. Het blijkt dat zeesla met name aan de randen van de grotere geulen aangetroffen is (Figuur 3). Opvallend is de afwezigheid in de Noordzeekust boven de Waddeneilanden. Ook in vrijwel het gehele Eems-Dollard gebied is geen zeesla aangetroffen (niet in de figuur). Ook zijn de vangsten van zeesla in de Waddenzee hoger dan in het deltagebied waar het is aangetroffen in de Oosterschelde en in mindere mate in de Westerschelde (gegevens niet getoond).

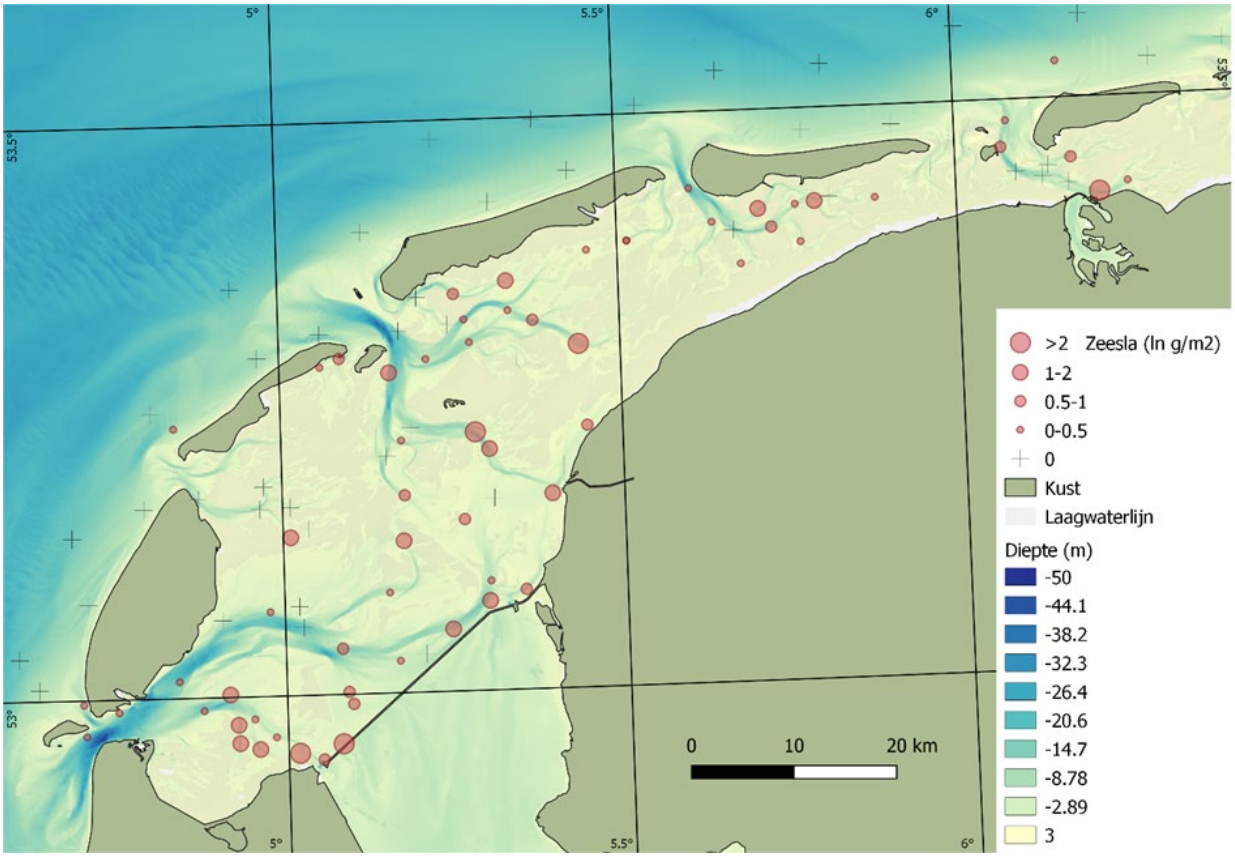
De kaarten voor de twee opvolgende jaren in Figuur 3 laten een consistent beeld zien van de verspreiding, dat wil zeggen, zeesla werd op overeenkomende locaties aangetroffen en ook de hoeveelheden vallen in hetzelfde bereik. Het beeld komt ook overeen met de uitgebreide inventarisatie van Gittenberger et al. (2015, zie Bijlage 1). De totale berekende hoeveelheid biomassa van zeesla was in 2019 gemiddeld genomen hoger dan in 2018 (Tabel 1). Bij de berekening is uitgegaan van een oppervlak van de Waddenzee van 2600 km^2, bestaande uit 1300 km^2 aan Habitatype H1110 A (Permanent met zeewater van geringe diepte overstroomde zandbanken, getijdengebied) en een zelfde oppervlak aan Habitattype H1140 A (Slik- en zandplaten, getijdengebied). Samen zijn dit dus de delen van het Nederlands deel van de Waddenzee, exclusief de Eems-Dollard, die permanent of tijdelijk onder water staan.

Onbekend is wat de hoeveelheden op de droogvallende platen zijn en of er verplaatsing van zeesla met de getijdenstromen plaatsvind van plaat naar geul (en vice versa) en in de geulen zelf. Uit de inventarisatie van Gitteberger et al. (2015) blijkt dat zeesla vooral in de geulen, maar plaatselijk ook op platen gevonden wordt.

Tabel 1 Geschatte totale biomassa (nat gewicht) van zeesla in de Waddenzee in ton met 95% betrouwbaarheidsintervallen

Jaar	Gemiddelde biomassa (x 1000 kg)	min 95% CI	max 95% CI
2018	2628	1833	3422
2019	3632	2089	5175





Figuur 3 Verspreiding van zeesla (*Ulva* spp.) op basis van nat gewicht, gevangen tijdens de Demersal Fish Survey in september 2018 (boven) en 2019 (onder).

2.3 Seizoensdynamiek en ecologische rol van zeesla

Vanwege het ontbreken van monitoring is er ook weinig bekend over de seizoensdynamiek van zeewier in de Waddenzee. Wel is er informatie over de seizoensontwikkeling van zeesla in de Waddenzee uit studies rond 1990 en van andere locaties, met name het Veerse Meer in Zeeland, rond 2000.

Peletier (1992) schetst op basis van onderzoek uitgevoerd in de periode 1988-1991 het volgende beeld van de seizoensontwikkeling van zeesla in de Waddenzee. In het voorjaar start de ontwikkeling van zeesla uit overwinterende fragmenten op de bodem, waarbij vegetatieve ontwikkeling belangrijker is dan geslachtelijke voortplanting. Waarschijnlijk komt zeesla los van de substraten waarop het groeit (schelpen en stenen) door bodemberoering als gevolg van harde wind en (mossel)visserij. Losgelagen delen ontwikkelen zich vervolgens verder en worden door waterstromen verder verdeeld over de geulen en platen. Ook Kolbe et al. (1995) vonden dat zeesla in het voorjaar vooral gehecht is aan de byssusdraden van mosselen in mosselbanken en daarnaast op de lege schelpen van kokkels, nonnetjes en mosselen.

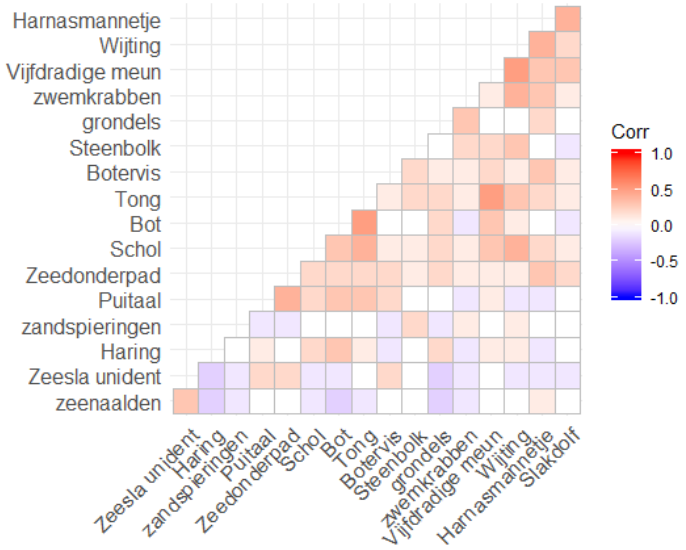
Door Malta (2000) wordt voor zeesla in het Veerse meer de seizoensdynamiek in wat meer detail beschreven. Zijn hypothese, die dus verder onderbouwd dient te worden, is dat zeesla overwinterd in het sediment en in het voorjaar op ondiepe plaatsen start met de groei. Wanneer het zeesla door wind-gedreven stroming los komt uit het sediment verdeeld het zeesla zich naar wat diepere delen (tot ca. 1 m diep) en start te groeien in het voorjaar (april). Wanneer de voedingsstoffen (met name stikstof) uitgeput raakt en/of de biomassa zodanig is toegenomen dat door zelf-beschaduwing de hoeveelheid licht beperkend wordt, stagneert de groei in de zomer (half juli) en neemt vanwege de hoge temperatuur niet verder toe tot half-september. Daarna neemt de biomassa weer af. Mogelijke, maar niet verder onderzochte, redenen zijn consumptie door ongewervelden en vogels, verstoring door herfstwind, virus-aanvallen en ziektes.

Er is dus meer bekend over de opbouwfase van het zeewier dan over de afname in de herfst en de winter. De groei neemt in het voorjaar toe, en het zeewier neemt voedingsstoffen (primair fosfaat en stikstof) op. Hierbij concurreert het met andere primaire producenten in de Waddenzee, waaronder het fytoplankton in de waterkolom en het microfytobenthos op de wadplaten.
Voor het fytoplankton in de westelijke Waddenzee blijken met name de concentraties aan fosfaat de groei te beperken (Leote et al., 2016). Verder blijkt dat vooral in de periode april-november, dus tijdens de groeiperiode van zeesla, de bodem een belangrijkere bron van fosfaat is dan de aanvoer vanuit zoete wateren (IJsselmeer). Mogelijk kan zeesla tijdens verblijf op de bodem deze bron van nutriënten goed benutten voor groei. Gedurende de groeifase lijkt er weinig "verlies" op te treden door afbraak of consumptie.

Het is echter mogelijk dat een deel van het zeesla gedurende het groeiseizoen en/of daarna geconsumeerd wordt. Het blijkt dat zeesla wat groeit op mosselbanken door herbivore ongewervelden gegeten wordt (Geertz-Hansen et al., 1993). Indien de graasdruk echter laag is kunnen mosselbanken helemaal bedekt raken met zeesla. Herbivore grazers zijn kreeftachtigen als vlokreeften (*Gammarus* spp.) en zeepissebedden (*Idotea* spp.) en slakken (alikruiken (*Littorina* spp.), wadslakje (*Hydrobia* spp.)). Uit andere studies blijkt dat begrazing van zeesla in de waterkolom beperkt is (Malta, 2000; Kamermans et al., 2002). Vlokreeften die zich voeden met epifytische algen kunnen de groei van zeesla zelfs stimuleren omdat meer nutriënten en licht beschikbaar komt aan het bladoppervlak van zeesla (Kamermans et al., 2002). Vogels zoals Rotgans en Smient foerageren vooral in het voorjaar op zeesla dat dan in en op het sediment van platen net tot ontwikkeling komt (Van den Hoek, 1979).

Het kan zijn dat zeesla niet zozeer een trol speelt als voedselbron, maar wel als leefomgeving voor andere soorten. Daarom is er in de DFS gegevens gezocht of er een correlatie bestaat tussen het voorkomen van zeesla en dat van vissoorten (Figuur 4, zie ook Bijlage 3). Hieruit blijkt dat er een significant ($p<0,05$) positieve correlatie bestaat tussen zeesla en de vangst van zeenaalden, puitaal, zeedonderpad en botervis. Van zeenaalden is bekend dat ze voorkomen tussen wieren en zeegras. De overige vissen leven vooral op de bodem en worden blijkbaar aangetrokken door de aanwezigheid van zeesla. Met andere vissoorten is er juist een significant negatieve correlatie, zoals voor haring,

grondels en wijting. Haring is een soort die niet of nauwelijks nabij de bodem voorkomt. Grondels en wijting leven wel nabij de bodem maar vermijden blijkbaar gebieden waar zeesla aanwezig is. Met andere soorten als bot, schol, tong, harnasmannetje, vijfdradige meun, slakdolf en zandspiering werd geen significante correlatie vastgesteld.



Figuur 4 Correlatie van zeesla (ln-getransformeerd geschatte g/m^2) met vissoorten (ln-getransformeerde aantal/ha)

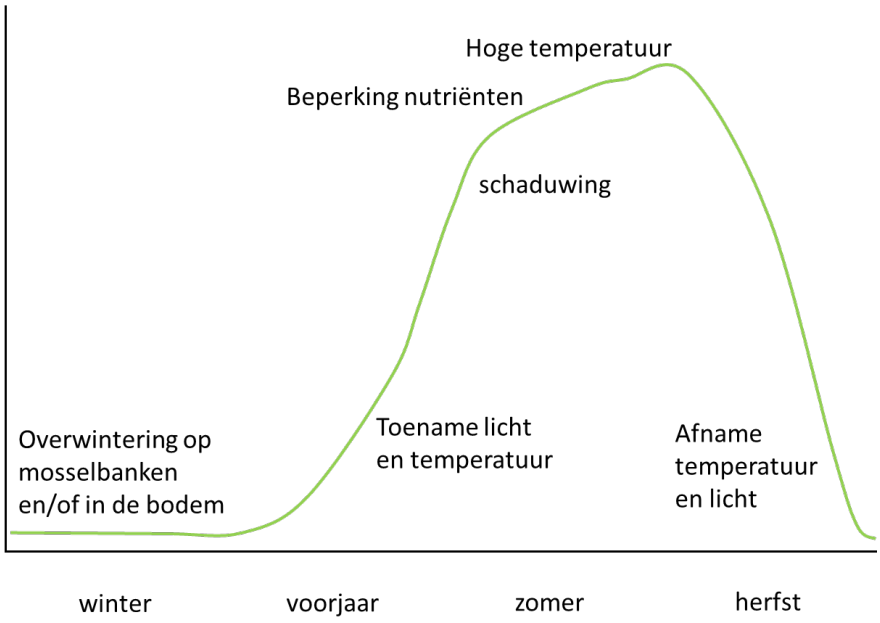
Afbraak

Over wat er met zeesla gebeurd in de herfst en winter is veel minder bekend. Een deel van het zeesla lijkt door de wind op de randen van platen en langs de kust aan te spoelen. Doordat zich dikke pakketten kunnen vormen sterft de zeesla af, waarschijnlijk door verstikking en uitdroging. Ook kan het zijn dat zeesla onder het sediment in de diepere geulen terechtkomt en daar afsterft, maar dat een deel daarvan toch kan overleven. Uit Deens laboratorium onderzoek van Vermaat en Sand-Jensen (1987) blijkt dat zeesla zich in de herfst aanpast aan lage licht condities door de chlorofyl concentratie ter verhogen. Door de toename van ammonium en nitraat in de herfst zou dit in de Waddenzee ook goed mogelijk zijn. Ook na maanden in koude en donker blijkt zeesla nog levensvatbaar en begint te groeien als hogere lichtintensiteiten worden aangeboden. Daarnaast kan zeesla ook overleven aan vrieskou, mits dit niet plotseling maar geleidelijk gebeurt. Geconcludeerd werd dat zeesla een zeer plastische soort is die opportunistisch is als de omstandigheden gunstig zijn en persistent is in perioden van stress.

Zwarte vlekken

Begin jaren ’90 werden er in de Waddenzee zogenaamde “ zwarte vlekken” op de bodem van de Waddenzee aangetroffen. Het bleek te gaan om algenmateriaal (vooral *Ulva* soorten; zeesla en darmwieren) die door bedekking in het sediment terecht waren gekomen en vervolgens zijn afgestorven (de Jonge et al., 1993). Door het verbruik van zuurstof door de bacteriën die voor de

rotting zorgden is de bodem zuurstofloos geworden en vormen zich zwavelverbindingen die het sediment zwart laten kleuren.



Figuur 5 Schematische veronderstelde seizoensdynamiek van zeesla-biomassa in de Waddenzee, mede op basis van Malta (2000), zie tekst.

2.4 Bevisbare hoeveelheden zeesla

Zoals eerder in dit stuk aangegeven is over de historische productie en biomassa van zeesla in de Nederlandse Waddenzee weinig bekend. Door Peletier (1992) is drie jaar onderzoek gedaan in de geulen en op de platen van de Westelijke Waddenzee. Hij schatte de maximale biomassa in de Westelijke Waddenzee op respectievelijk 1,40 (1988), 2,50 (1989) en 0,04 (1991) ton drooggewicht per km^2. Er van uit gaande dat het natgewicht een factor 5 hoger ligt, zou de totale biomassa aan nat zeesla respectievelijk 7, 12,5 en 0,2 ton per km^2 zijn geweest. Hij weet de lage waarde voor 1991 aan het kleinere areaal mosselbanken, waarvan hij veronderstelde dat deze belangrijk waren voor de initiële biomassa van zeesla in het voorjaar, en aan de relatief lage nutriëntenconcentraties die in 1991 gemeten werden in de westelijke Waddenzee. De in deze studie gevonden gemiddelde biomassa over de gehele Waddenzee per km^2 is 1,0 en 1,2 ton per km^2 voor 2018 en 2019 en is dus in dezelfde orde van grootte als gevonden door Peletier (1992). In onderliggende studie blijkt ook dat dichtheden in de Westelijke Waddenzee relatief hoog zijn, waardoor de waarden nog dichter bij die van Peletier (1992) kunnen liggen. Uit de monitoring van de droogvallende platen in het Duitse deel van de Waddenzee blijkt overigens dat de biomassa sterke jaar-tot-jaar verschillen kan vertonen, zie Figuur 4.

Zoals beschreven in paragraaf 2.2 en Figuur 3 is de biomassa in de geulen van de Nederlandse Waddenzee zeer heterogeen verdeeld. Een schatting is gemaakt van wat een garnalenvisser per tijdseenheid zou kunnen vangen. Hiertoe kunnen de dichtheidsgegevens van de Demersal Fish Survey (DFS) geëxtrapoleerd worden naar de praktijk van de reguliere garnalenvisserij. Berekend kan worden hoeveel zeesla er per tijdseenheid gevangen kan worden. Aannames zijn: een netopening van het garnalennet van 9 meter, twee netten aan weerszijden van het schip, vissnelheid snelheid van 5 km/uur. In gebieden met een zeer hoge dichtheid kan tot 25 gram natgewicht per m^2 voorkomen, dat ongeveer overeenkomt met een volume van 0,1 liter. Om een kubieke meter zeesla op te vissen (250 kg natgewicht) moet dan een oppervlak van 1 ha (10.000 m^2) worden bevist, dit duurt hooguit 7 minuten. Met andere woorden, in korte tijd zal een grote hoeveelheid zeesla verzameld kunnen worden. Omdat het net snel dichtslibt zal het net dan regelmatig geleegd moeten worden. Niet overal zijn de dichtheden echter zo hoog en trekken kunnen ook nauwelijks zeesla bevatten.

2.5 Conclusies

- Zeesla bestaat uit verschillende soorten *Ulva* en is het meest voorkomende zeewier in de open delen van Waddenzee.
- In de geulen van de Waddenzee zijn de hoeveelheden zeesla twee maal in de nazomer geïnventariseerd, waardoor nu voor het eerst een beeld van de verspreiding en biomassa van zeesla tot stand is gekomen.
- De groei van zeesla vindt plaats in het voorjaar en vooral bij hoge temperaturen in de zomer. Waarschijnlijk breekt een groot deel in de winterperiode af en raakt een deel begraven in de bodem van waar uit in het voorjaar weer groei plaatsvindt. Hierover bestaat nog te weinig inzicht.
- Zeesla lijkt van geringe ecologische betekenis omdat het in beperkte mate door dieren in de Waddenzee wordt gegeten. Het kan wel een structuurvormer die een leefomgeving biedt voor bepaalde diersoorten. Hierover is nog weinig informatie beschikbaar.
- Geschat is dat voor het vangen van een kubieke meter zeesla, overeenkomend met ongeveer 250 kg natgewicht, in het gunstigste geval slechts 7 minuten gevist hoeft te worden met een commercieel garnalenvistuig. Zeker niet overal zijn de dichtheden zo hoog en zal langer gevist moeten worden.

3 Regelgeving

Ten aanzien van regelgeving zijn drie verschillende aspecten relevant. In de eerste plaats is de Waddenzee een natuurgebied waardoor eisen gesteld worden aan de activiteiten die er plaatsvinden. In de tweede plaats is visserij een activiteit die plaats vindt onder de visserijwet die bepaalde eisen stelt aan wat gevangen wordt de hoe de visserij plaats vindt. In de derde plaats worden aan zeewieren kwaliteitseisen gesteld wanneer het wordt toegepast als (verwerkt) voedsel, diervoer of andere toepassingen. Het gaat dan vooral om gehaltes aan verontreinigingen en hygiënische kwaliteit. Als laatste kunnen ook certificeringen van toepassing zijn, waarbij vooral de duurzaamheid van winning een rol speelt.

3.1 Natuurgebied Waddenzee

Het Waddenzeegebied heeft een grote natuurwaarde, waardoor het op de UNESCO-Werelderfgoedlijst staat. De Waddenzee wordt beschermd onder het regime van Natura 2000[1], zoals dat in Nederland verankerd is in de Natuurwet en waaraan de Europese Vogelrichtlijn en Habitatrichtlijn ten grondslag liggen. In de aanwijzing van het gebied zijn verschillende habitattypen en soorten vogels en zeezoogdieren aangewezen voor bescherming. Het beheerplan voor de Waddenzee[2] omvat maatregelen die deze bescherming moeten effectueren.
Zeewieren vormen geen beschermde soorten in de Waddenzee. Ook zijn de beschermde habitattypen dusdanig gedefinieerd dat zeewieren daar geen onderdeel van vormen en ook daardoor geen specifieke bescherming genieten. Vanuit Natura 2000 geldt er daarom geen specifieke bescherming van zeewieren.

Het beroepsmatig verzamelen van vis en schelpdieren, ook die soorten die niet een Natura 2000 bescherming genieten, valt onder visserij-regelgeving. Voor het vissen op zeewier is nog geen visserij-regelgeving van toepassing. Indien deze wordt ontwikkeld dan zullen voorwaarden gesteld worden aan de winning van zeewier. Als voorbeeld kan de visserij op de exotische Japanse oester dienen. Het beroepsmatig handmatig rapen van Japanse oesters is een vanuit de Wet natuurbescherming een vergunningsplichtige activiteit waarvoor geen specifiek toetsingskader gegeven wordt. Het is aan het bevoegde gezag om te bepalen onder welke voorschriften dergelijke activiteit kan plaats vinden. Zo dienen de rapers van de Japanse oester een raapplan op te stellen, waarin de manier van oesterrapen wordt gespecificeerd en wordt er voor een periode van zes jaar toestemming voor het rapen verleend. Daarnaast mag er ook voor eigen gebruik (en dus niet voor verkoop) schelpdieren geraapt worden, zeekraal gesneden worden en met een net gevist worden op vis en andere zeedieren (Beheerplan Waddenzee[2]). Het is vooralsnog de vraag onder welk type regime van regelgeving het verzamelen of bijvangen van zeewier plaats zou kunnen (gaan) vinden.

3.2 Visserij

Garnalenvisserij
Garnalenvisserij in de Waddenzee vindt voornamelijk plaats in het westelijk deel in de grotere geulen en aan de randen daarvan (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016) en wordt jaarrond uitgevoerd. Er wordt gebruik gemaakt van een ijzeren boom met een maximumlengte van 9 m die door over de bodem voortgesleepte sloffen op ongeveer 50 cm boven de bodem wordt gehouden. Aan de boom is een net bevestigd waar zich aan de onderkant klossen bevinden die over de bodem rollen en de garnalen van de bodem af laten komen. De maaswijdte van het net varieert tussen 8-20 mm en verschilt tussen de delen van het net. De netopening is 9 m horizontaal en ongeveer 80 cm verticaal.

[1] Besluit van 30 januari 2009 (DRZO/2008-001; Stcrt. 2009, 38) tot aanwijzing van Waddenzee als Natura 2000-gebied.
[2] Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016. Natura 2000-beheerplan Waddenzee. Periode 2016-2022.

Garnalenvisserij is een vergunning plichtige activiteit op basis van de Wet natuurbescherming en het bevoegd gezag is het Ministerie van LNV. Bepaalde delen van de Waddenzee zijn gesloten voor garnalenvisserij om natuurherstel mogelijk te maken. In het net moet een zogenaamde zeef-lap of sorteerrooster aanwezig zijn die een ontsnappingsmogelijkheid biedt aan juveniele vis. Er mag níet op droogvallende platen en op sublitorale mosselbanken worden gevist.
Ongeveer 40% van de vangst bestaat uit garnalen met het juiste formaat voor de handel. De bijvangst bestaat verder uit ondermaatse garnalen (40%) bodemdieren en vissen (samen ca. 20%). De bijvangst gaat via de sorteermachine aan dek weer overboord.

Regelgeving Staandwant:
Met staandwant wordt in de Waddenzee beroepsmatig gevist op Harder en Zeebaars. Het enkelwandig of tweewandig net wordt staande gehouden in het water door drijvers aan de bovenpees en een verzwaarde onderpees.
Staandwantvisserij wordt in de Waddenzee uitgevoerd in de periode april-november en is geconcentreerd in prielen (kleine geulen) en langs net niet droogvallende platen (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016). Met uitzondering van de gesloten gebieden is het overal in de Waddenzee toegestaan. Vissers met vaste vistuigen waaronder staandwant dienen te beschikken over een vergunning in het kader van de Visserijwet. Het bevoegd gezag voor de gehele Waddenzee hierbij is de provincie Fryslân. Het aantal vergunningen is gelimiteerd. Er zijn een aantal voorwaarden bij de uitvoering, zo is de maximale lengte 2500 m, moeten de netten dagelijks geleegd worden en dient het net bij laagwater naar de bodem te zakken. Bijvangsten van trekvissen, vogels en zeezoogdieren moet geregistreerd worden en blijkt zeer beperkt. Voor bijvangsten van zeewieren zijn geen voorwaarden beschreven. Voor recreatieve staandwantvisserij gelden andere (minder stringente) voorwaarden en beperkingen.

Aangespoeld zeewier
Sinds 2017 is er een visser op de Waddenzee die vergunning heeft (Wet natuurbescherming) voor het verzamelen (rapen) van aangespoeld zeewier. Deze opereert vanaf het voormalige Noord-Hollandse Waddeneiland Wieringen. Het gaat om zeewier dat langs de waterlijn wordt aangetroffen en bestaat voornamelijk uit zeesla en kleinere hoeveelheden blaaswier en knoopwier. De provincie Noord-Holland heeft een vergunning verleend om 25 ton nat zeewier per jaar te verzamelen (Regionale Uitvoeringsdienst Noord-Holland Noord). De vergunningaanvraag op basis van de Wet natuurbescherming is vergezeld gegaan van een passende beoordeling en is medio oktober 2017 verleend. Het verzamelde zeewier dient op de visafslag gewogen te worden onder toeziend oog van de NVWA. Het meeste zeewier kan net na de zomer verzameld worden. De kwaliteit van het zeewier voor verdere verwerking is beperkt. Mogelijkheden waaraan gedacht wordt zijn toepassingen als grondverbeteraar, bv. voor bollenteelt, extractie van nutriënten maar ook voor consumptie. Het vermarkten moet nog vorm gaan krijgen. Vooralsnog liggen de aangeboden prijzen erg laag (0,50 euro per kg) en het verzamelen wordt als onrendabel beschouwd.

3.3 Kwaliteitseisen

Zeewieren die uit hun natuurlijke habitat worden geoogst, kunnen stoffen bevatten die schadelijk kunnen zijn bij gebruik als voedsel of diervoerder. Zeewieren kunnen biologisch gegenereerde toxines bevatten, d.w.z. metabolisch geproduceerde stoffen in het weefsel van zeewieren, of geproduceerd door epifytische organismen die gehecht zijn aan de zeewierthallus (bijv. TBP; 2-4-6 tribromophenol). Andere verontreinigingen hebben betrekking op toxische stoffen die worden geaccumuleerd in het weefsel van zeewieren door opname uit hun omgeving, zoals (zware) metalen en organische microverontreinigingen, waaronder pesticiden. Hoge niveaus kunnen mogelijk leiden tot schadelijke effecten voor de consument.

Voor de toepassing van zeesla in diervoer en als voedsel voor menselijke consumptie bestaan verschillende kwaliteitseisen. Voor de toepassing van zeewier als veevoer zijn de grenswaarden van *Tabel 1* van toepassing, op basis van EU Directive 2002/32/EC.

Tabel 2 Overzicht van grenswaarden van stoffen in zeewier bedoeld als veevoer

Stof	**Grenswaarde***
Cadmium	1 mg/kg
Lood	10 mg/kg
Kwik (totaal)	0,1 mg/kg
Arseen (totaal)#	40 mg/kg
Fluor	150 mg/kg
Nitriet	15 mg/kg
Melamine	2,5 mg/kg
Dioxine	0,75 ng/l WHO-PCDD / F-TEQ/kg
Dioxine en dioxineachtige PCB's	1,25ng/l WHO-PCDD / F-PCB-TEQ/kg
PCB's niet-dioxineachtig	10 µg/kg

* op basis van nat gewicht en uitgaand van een vochtgehalte van het voer van 12%
\# anorganisch arseen dient lager dan 2 ppm te zijn en is met name relevant voor de zeewiersoort *Hizikia (*of *Sargassum) fusiforme* die niet in het wild in Nederland voorkomt.

Grenswaarden voor voedsel(additieven) hebben alleen betrekking op gehaltes aan cadmium, lood en kwik, zie *Tabel 2*. Deze grenswaarden zijn opgenomen in Regulation (EC) No 1881/2006.

Tabel 3 Overzicht van grenswaarden van stoffen in zeewier bedoeld als voedsel(additief)

Stof	**Grenswaarde**
Cadmium	3,0 mg/kg nat gewicht
Lood	3,0 mg/kg nat gewicht
Kwik	0,1 mg/kg nat gewicht

Er kan niet zondermeer vanuit worden gegaan dat niveau's van toxische stoffen in zeesla uit de Waddenzee voldoen aan de kwaliteitsnormen voor diervoer en voedsel. Uit een analyse van contaminantgehaltes van 21 soorten van de Noorse noordkust blijkt dat in groenwieren met name de concentratie van lood hoog kan zijn (Biancarosa et al., 2017). Concentraties van metalen in zeesla blijken een seizoenspatroon te vertonen met lage waarden tijdens de groei in de zomer en oplopende waarden in herfst en winter (Villares et al., 2002). Aangenomen wordt dat dit een gevolg is van verdunning door groei.

Uit het hoofdstuk over gifstoffen uit het Quality Status Report voor de Waddenzee uit 2009 (Bakker et al., 2009) blijkt dat loodgehaltes in mosselen in de Nederlandse Waddenzee opmerkelijk hoger zijn dan in het Duitse deel.

De capaciteit van zeesla om metalen op te nemen wordt zelfs gebruikt om metalen uit afvalwater te verwijderen (Henriques et al., 2019). Het zeesla zelf lijkt weinig last te ondervinden van deze hoge gehaltes. De door Henriques et al (2019) gevonden maximale bioconcentratiefactor (BCF)[3] voor lood bij 72 uur blootstelling aan 1 mg lood/l was ongeveer 1000. Bioconcentratiefactoren bij lagere waterconcentraties variëren ongeveer tussen de 50 en 400 met interne gehaltes tussen 2 en 6 µg lood per gram drooggewicht zeesla (Diop et al., 2016; Locatelli, 1999). Uit onderzoek van Hartonidis & Malea (1999) bleek de accumulatie van lood en ook koper overigens positief te correleren met concentraties in sediment en niet met die in water.

[3] BCF is ratio van de interne concentratie van een stof in zeewier ten opzichte van de concentratie van deze stof in het omringende water

3.4 Certificeringen en keurmerken

Naast de (bio-)chemische kwaliteitseisen die aan zeewier worden gesteld bestaan er criteria voor de certificering van producten van zeewier. Deze certificeringen hebben betrekking op het aantonen van de duurzaamheid van winning en voor de kwalificatie als biologisch product.
Om de duurzaamheid van zeewier en zeewierproducten aan te tonen is recent door de Aquaculture Stewardship Council (ASC) en de Marine Stewardship Council (MSC) een richtlijn opgesteld[4]. Deze richtlijn bevat vijf basis principes. Vrij vertaald vanuit het Engels zijn dat:
Principe 1: Duurzame wilde populaties: De oogst en teelt van zeewier wordt op een wijze uitgevoerd dat de productie capaciteit van wilde populaties zeewier en het gebruik daarvan behouden blijft.
Principe 2: Milieu effecten: De oogst- en teeltactiviteiten laten het behoud mogelijk van de structuur, productiviteit, functie en diversiteit van het ecosysteem (inclusief habitat met verbonden afhankelijke en verwante soorten) waar de activiteit van afhankelijk is.
Principe 3: Effectief beheer: De oogst- en teeltactiviteiten zijn onderworpen aan een beheerssysteem dat lokale, nationale en internationale wetten en richtlijnen respecteert en dat institutionele en operationele raamwerken toepast die een ecologisch duurzaam en sociaal verantwoordelijk gebruik van bronnen vereist.
Principe 4: Sociale verantwoordelijkheid: De oogst- en teeltactiviteiten worden op een sociaal verantwoorde wijze uitgevoerd.
Principe 5: Relaties en interacties met de gemeenschap: De oogst- en teeltactiviteiten worden dusdanig uitgevoerd die negatieve gevolgen op buren minimaliseert, rechten en culturen respecteert, en ten goede komt aan gemeenschappen.

Ten aanzien van de certificering als biologisch product gelden Europese richtlijnen die in Nederland door SKAL Biocontrole worden verleend en gecontroleerd. "Voor het in het wild vergaren van zeewier is een aantal eisen opgenomen in de biologische wetgeving. Een biologisch zeewierbedrijf moet in haar bedrijfsplan aantonen hoe zij aan deze eisen voldoet. Het bedrijfsplan is het vertrekpunt van de inspectie. Een aandachtspunt bij het verzamelen van zeewier is de duurzaamheid op de lange termijn."[5] "De vergaring van wild zeewier kan biologisch worden gecertificeerd als de gebieden waar het zeewier groeit van zeer goede ecologische kwaliteit zijn (niet verontreinigd). Hierbij worden de Nederlandse productiegebieden voor tweekleppigen als uitgangspunt genomen. De vergaring mag niet ten koste gaan van de langetermijnstabiliteit van de natuurlijke habitat." Dit moet aantoonbaar zijn in het bedrijfsplan.

De volgende verordeningen zijn van toepassing: Artikel 13 van de Verordening (EG) Nr. 834/2007: basiswetgeving ; Artikel 6, 25 en 29 van de Verordening (EG) Nr. 889/2008: bepalingen voor de uitvoering.

Er kan ook aan andere vrijwillige keurmerken voldaan worden, zoals voor streekproducten. Voor de Waddenzee is er een streekkeurmerk Waddengoud opgericht door de stichting Waddengroep[6]. Dat keurmerk kan worden toegekend aan producten uit het Waddengebied als ze voldoen aan de door de Waddengroep gesteld eisen. Naast het voldoen aan de voorwaarden voor het SKAL-keurmerk (zie boven) en het milieukeur (voor non-food producten) zijn de voornaamste criteria: grondstoffen uit het Waddengebied; duurzaamheid tijdens het produceren en verwerken; in het Waddengebied verwerkt.

3.5 Conclusies

- Er bestaat geen duidelijke regelgeving ten aanzien van de winning van zeewier.
  Voor de activiteiten in de Waddenzee geldt dat er een vergunning nodig is in het kader van de Wet natuurbescherming. In de vergunning kunnen voorwaarden en beperkingen worden opgelegd.

[4] https://www.asc-aqua.org/wp-content/uploads/2017/11/ASC-MSC-Seaweed-Algae-Standard-v1.01.pdf
[5] https://www.skal.nl/aquacultuur/zeewier/wildoogst/
[6] https://www.waddengoud.nl/waddengoud-keurmerk/

Voor visserij is ook een vergunning vanuit de Visserijwet van toepassing. Indien er gericht op zeewier gevist gaat worden is het mogelijk dat hiervoor regelgeving ontwikkeld gaat worden.

- Voor toepassing van zeewier als voer en voedsel(additief) bestaan grenswaarden voor bepaalde gehaltes aan schadelijke stoffen.
  Het is zonder metingen van deze stoffen in zeewier uit de Waddenzee niet uit sluiten dat er grenswaarden overschreden worden.
- Voor certificering van zeewierproducten dient een winningsplan opgesteld te worden, waarmee het ecologisch duurzaam en sociaal verantwoordelijk gebruik van de wildvang van zeewier dient te worden aangetoond.

4 Technische (on)mogelijkheden

Wat is de vangbaarheid van zeesla en wat is de mogelijke omvang van oogst te opzichte van de inspanning die geleverd moet worden om zeewier te vangen? In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de technische (on)mogelijkheden om zeesla uit de Waddenzee te verzamelen uit de (bij)vangst van garnalenvisserij, (bij)vangst van staandwantvisserij en het verzamelen van aangespoeld zeewier op de Waddenkust.

4.1 Bijvangst garnalenvisserij

Figuur 6 Zeesla in het tuig van een garnalennet, in dit geval een kleine boomkor die gebruikt wordt bij de Demersal Fish Survey, zie H2.2.

Door garnalenvissers wordt in beginsel zo weinig mogelijk gevist op plekken waar zeesla aanwezig is. Het zeesla doet de netten dichtslaan waardoor de vangst van garnalen beperkt wordt en er werk besteed moet worden aan het verwijderen van het zeesla. Gevangen zeesla wordt weer overboord gegooid en kan dus herhaaldelijk opgevist worden. Dit kan een vertekend beeld geven, een overschatting, van de hoeveelheid bevisbare zeesla.
Door garnalenvissers wordt vaak gesteld dat er enorme massa's aan zeesla gevist kunnen worden, zo zou het makkelijk haalbaar zijn om in de zomermaanden, tussen mei/juni en oktober/november, tot 10.000 kg zeesla uit bepaalde gebieden van de Waddenzee weg te vissen.
Behalve garnalen bestaat een deel van de vangst uit visjes (zoals kleine zeenaald (*Syngnathus rostellatus*), dwergtong (*Buglossidium luteum*) en juveniele platvis, grondels (*Pomatoschistus* spp., bliek (jonge haring; *Clupea harengus*), ongewervelde dieren (zeesterren, krabben, vlokreeftjes) en zeewier. Naast zeesla kan ook knoopwier (*Gracilaria* spp.), blaaswier (*Fucus vesiculosus*, vooral de ondersoort *F.v. mytilii*) en andere soorten zeewier in kleine hoeveelheden worden bijgevangen.
Zeewier dient vervolgens uit de opvangbak gehaald te worden en gesorteerd te worden, wat ongeveer een half uur in beslag neemt. Desondanks kunnen er nog steeds garnalen tussen het zeewier aanwezig zijn en zo ook aangehechte organismen op de thalli van zeesla, zoals anemoon, zeesterretjes en epifytische soorten zeewier. Het zeesla is dient gescheiden te worden van de rest van de vangst en voorzichtig uitgeknepen te worden om het van water te ontdoen. Dit kan ca. 1,5 uur duren. Hierna is het zeesla relatief schoon (geen slib, geen slecht uitziend zeewier). Het uiteindelijke natgewicht was ca. 2,4 kg. Al met al veel werk voor een geringe opbrengst aan (schoon) zeesla.
Het net dat gebruikt wordt door garnalenvissers is van invloed op de vangstefficiëntie van zeesla. Met het zogenaamde brievenbusnet wordt bijvoorbeeld minder zeewier (bij)gevangen dan met de traditionele zeef-lap. Met de brievenbus gaat veel van de ongewilde bijvangst aan zeesla, vissen en ongewervelden rechtstreeks het net uit. De mogelijkheid om het net aan te passen kan dus ook gebruikt worden om de bijvangst aan zeesla juist te optimaliseren. Daarbij moeten wel de voorwaarden voor het beperken aan bijvangst van met name vissen te beperken, in acht worden genomen.

4.2 Bijvangst staand want visserij

Staandwant visserij wordt uitgevoerd met kleine vissersschepen van minder dan 15 m. Om in ondiep water te kunnen komen wordt een kleinere platbodem meegenomen. Het schip vaart uit en de netten worden uitgezet in ondiep water.

Figuur 7 Kleine kotter en aluminium platbodem gebruikt bij staand want visserij. Foto: https://kotterspotter.jouwweb.nl/wr-wieringen-den-oever

Vanaf juni-juli is er volgens vissers veel "groen" in de netten, nog veel meer dan bij garnalenvissers, "vrachtwagens op een dag", aldus een visser. Naar zeggen was er 40-50 jaar geleden nog veel meer, daarna veel minder.
De netten met vangst worden met de aluminiumboot vervoerd naar een kotter, daar haalt een machine de vangst uit en van het net. De flab (zeesla, *Ulva*) wordt daarbij uit het net geslagen op aan dek opgevangen. In principe kan de zeesla snel aangeland worden.
Er wordt onder meer gevist in de westelijke Waddenzee, op ondiepe delen tussen Wieringen, Texel en Den Helder.

4.3 Aangespoeld zeewier

In de zomer en nazomer kunnen grote hoeveelheden zeewier aanspoelen op de wadplaten, vooral zeesla, maar ook darmwier, knoopwier en blaaswier. Momenteel is er wel een vergunning, maar wordt er in de praktijk geen wier verzameld vanwege de lage prijs die het opbrengt. Voorwaarden bij het verzamelen zijn onder meer dat de Natura 2000 doelen (vogels, zeezoogdieren) niet verstoord mogen worden en habitattypen (zandbanken, kwelders) niet beschadigd mogen worden. Kleine hoeveelheden kunnen makkelijk verzameld en getransporteerd worden, maar dit is economisch niet gunstig (veel werk, weinig opbrengst). Anderzijds levert het verzamelen van grote hoeveelheden weer logistieke beperkingen. Zware pakketten kunnen moeilijk zonder schade over de zachte wadplaten worden vervoerd.

Figuur 8 Aangespoeld groenwier op een wadplaat**.**

4.4 Verwerking

Het is de vraag of alle aanwezige of opgeviste zeesla geschikt is voor verdere verwerking tot bijvoorbeeld diervoer. Voor het verzamelen van wild zeewier zou het handig zijn als op het oog beoordeeld kan worden of zeesla geschikt zou zijn voor verdere verwerking, zoals voor diervoer. Het blijkt echter dat er weinig valt te zeggen over de kwaliteit van zeesla op basis van de uiterlijke kenmerken van het thallus.

Soms kan zeesla donkere of witte plekken hebben, wat erop wijst dat deze delen van de thalli gebruikt zijn voor reproductie of door UV-schade zijn verbleekt. Vegetatieve cellen worden bij reproductie omgezet in reproductieve cellen die dan donker olijfgroen worden. Na het loslaten van de voortplantingscellen kleurt het thallus naar geel-groen en uiteindelijk wit. De vorming van reproductieve cellen kan worden geïnitieerd door de maanstand, maar ook door stress factoren als uitdroging, een donkere periode van meerdere dagen (bv. bij afdekking), fragmentatie, veranderingen in zoutgehalte en temperatuur (in Niesenbaum, 1988 en Carl et al., 2014).
De kwaliteit van zeesla wordt pas duidelijk bij analyse van de inhoudscomponenten. Deze kunnen variëren in het seizoen (Groenendijk et al., 2016). Dit aspect is op basis van verzameld zeesla binnen Werkpakket 2 van het Port4Innovation onderzocht.

Ook de opslag, transport en eventuele voorbehandeling is van invloed op de uiteindelijke kwaliteit van het zeewier. Voor extractie van hoogwaardige componenten is voorafgaand een snelle droging de beste wijze van voorbewerking. Droging kan in principe aan de lucht plaatsvinden door het uitspreiden van het materiaal, al dan niet bij verwarming tot ca. 70°C. Zonlicht heeft echter een negatieve invloed op de kwaliteit, doordat onder meer het eiwitgehalte en andere waardevolle inhoudscomponenten afnemen (Uribe et al., 2018).

4.5 Kosten van winning

Eventuele visserij op zeesla concurreert met visserij op garnalen, omdat vissers bij een goede garnalen-prijs minder geneigd zijn om over te gaan op vangst van zeesla. De garnalenprijzen blijken de afgelopen jaren zeer variabel te zijn[7]. Zo lag de gemiddelde prijs voor een kilo Noordzeegarnalen in 2016 nog boven de 7 euro en was dat begin 2019 nog maar 2,80 euro. Ook in 2015 lag de prijs op ongeveer 3 euro per kilo. De huidige lage prijs is een gevolg van een hogere aanvoer ten opzichte van de marktvraag, er liggen daardoor voorraden opgeslagen in koelhuizen. Zelfs voor de huidige lage garnalenprijzen van 2019 zou een aanvoerprijs van zeesla van 1 à 2 euro per kg nog te laag zijn om nu met garnalenvangsten te kunnen concurreren (Veenstra & Hoek, 2016). Daarbij moet worden aangemerkt dat de hoogste aanwezigheid (en dus de vangst) van zeesla samenvalt met de gunstige periode van garnalenvisserij, de nazomer. De voorkeur ligt bij bovengenoemde prijzen dan bij de visserij op garnalen.

De variabele kosten voor de visserij bestaan, naast de afschrijving van het schip, voor een groot deel uit stookkosten (varen) en de bemensing van schepen. Omdat het met een garnalennet gevangen zeesla aangehecht zand en slib bevat dient het ook schoongemaakt te worden. Het verwijderen van het zeesla van het net en het afspuiten van deze vervuiling kost extra tijd en mankracht en zorgt dus ook voor extra kosten. Om het zeesla in goede conditie te houden kan het niet te lang aan boord liggen. Er zijn op garnalenschepen ook geen goede voorzieningen voor opslag van grote volumes aan zeesla. Een natgewicht van 1000 kg heeft een volume van ca. 4 m^3. Het is dan zaak om voor een snelle afvoer in de haven te zorgen. Al met al zou voor een prijs van ca. 3 euro per kilo mogelijk rendabel op zeesla gevist kunnen worden, mede afhankelijk van de totale hoeveelheid. Eenmaal aangevoerd dient het zeesla opgeslagen dan wel direct verwerkt te worden. De verwerking zou dan het best via droging kunnen gebeuren.

[7] https://visbureau.nl/sites/default/files/factsheet_noordzeegarnalen_2019-079e_1.pdf

4.5.1 Aanlanding

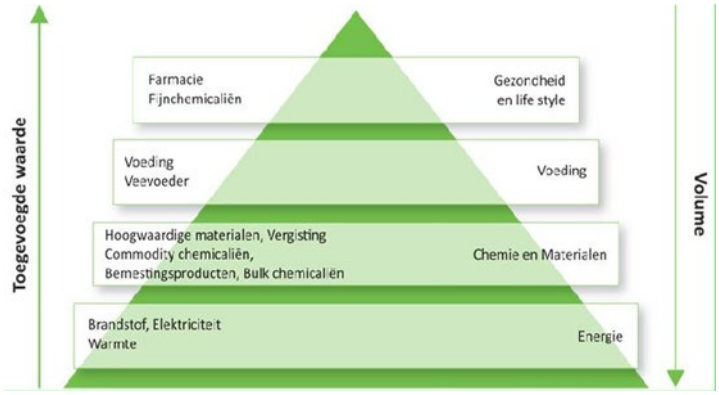
Bij de visafslagen rondom de Waddenzee (Den Helder, Den Oever, Harlingen, Lauwersoog) is nagegaan of er ooit zeewier is verhandeld. Dat blijkt niet het geval te zijn. Er kan echter niet worden uitgesloten dat er ooit zeesla is aangeland en verhandeld, maar dat is dan buiten de visafslag om gebeurd.

4.6 Conclusies

- Zeesla dat met een garnalenkotter wordt gevangen bevat ook veel garnalen, andere ongewervelden (zeesterren, krabben, vlokreeftjes), kleine vis en ander zeewier. Daarnaast is er veel aangehecht slib en zand. Dit komt door de constructie van dit tuig wat gericht is op garnalenvangst in plaats van zeewiervangst.
- Het verwijderen van ongewenst bijvangst uit het zeesla neemt veel tijd in beslag en zal in de praktijk niet volledig mogelijk zijn.
- Met staandwant kan waarschijnlijk schoner zeesla worden verzameld, maar zijn de te verzamelen hoeveelheden beperkt.
- Aangespoeld zeewier heeft een geringe kwaliteit om verder verwerkt te kunnen worden tot een commercieel product.
- Zelfs bij lage prijzen voor garnalen is de prijs die voor zeesla geboden wordt nog te laag om concurrerend te zijn.
- Na de vangst is ook opslag en verwerking van zeesla aan boord nodig. Hierin zijn garnalenschepen niet voorzien.
- Er heeft nog geen (geregistreerde) aanvoer van zeesla vanaf de Waddenzee plaatsgevonden.

5 Toepassingen

Zeewier en ook zeesla kan voor verschillende producten toegepast worden. Er is in zeewier vaak een geringe hoeveelheid van hoogwaardige componenten aanwezig die toegepast kunnen worden in bijvoorbeeld de pharmacie of cosmetica. Daarnaast bestaat een groot deel van zeewier uit laagwaardige componenten die als biogrondstof kan dienen voor materialen of als brandstof voor energiewinning. Voor deze gelaagde opbouw wordt de term " waardepyramide" gebruikt[8]. Door stapsgewijs de verschillende componenten te benutten kan de meeste waarde uit het zeewier gehaald worden.



In dit hoofdstuk zijn mogelijke toepassingen van zeesla verkend. Een uitgebreide analyse is uitgevoerd door TNO (voorheen ECN).

5.1 Mogelijke markten en producten

Wettelijke beperkingen op nieuwe voedingsmiddelen en nieuwe voedselingrediënten, voedselveiligheid, voedingswaarde en voedselgezondheidsclaims kunnen het tempo van de commercialisering van zeewier vertragen (Vigani et al. 2015). Bovendien maakt het gebrek aan openbaar beschikbare economische en marktinformatie het moeilijk om hun industriële potentieel te evalueren (Henchion et al. 2017). Productiekosten en energie-eisen beperken momenteel de ontwikkeling van enkele hoogwaardige zeewierproducten, bijvoorbeeld de gesulfateerde polysacharide ulvan en de hoofdcomponenten rhamnose en glucuronzuur, terwijl de kostprijzen van op eiwit gebaseerde ingrediënten aanzienlijk moeten dalen voor een economische haalbaarheid (Vergara Intriago 2019). Echter, in de nabije toekomst zullen technologische ontwikkeling en marketingstrategieën zeewiergebaseerde eiwitten blijven positioneren als een gewenste optie vanuit een duurzaamheidsperspectief.

Van Ocean Harvest Technology Limited (Milltown, Ierland; www.oceanharvesttechnology.com) wordt aangenomen dat het de eerste producent van zeewiervoederingrediënten is die in staat is om organische mengsels van meerdere soorten zeewieren aan te bieden. De zeewieren hiervoor zijn vanuit de hele wereld afkomstig. Hun product OceanFeedTM betrad de voedermarkt gericht op premium segmenten, zoals de dierensportindustrie met speciaal samengestelde zeewiermengsels voor o.a. paarden en windhonden, maar ook voeders voor vee en varkens. OceanFeedTM PET, een voedingssupplementproduct voor honden, heeft onlangs de marktpositie van Ocean Harvest Technology uitgebreid naar Europa en Noord-Amerika (www.oceanharvesttechnology.com/pet-product).

Ondertussen ontstaan en ontwikkelen nieuwe nichemarkten, omdat zeewieren een verscheidenheid aan kenmerken vertonen, naast hun vaak besproken voedingswaarde voor energie, voedsel en voer.

[8] Van kennischuster naar innovatief ecosysteem. Projectvoorstel Port4Innovation, Aangepaste aanvraag 30 april 2016.

Zeewieren zijn vrijwel niet-brandbaar, bestand tegen schimmels en kunnen worden gebruikt als isolatiemateriaal zonder chemische additieven (Gräbe 2013). Het zeegras *Poseidonia oceanica* is perfect geschikt om te worden gebruikt als een duurzaam en natuurlijk beschikbaar materiaal voor thermische isolatie (Gräbe 2013, Balata & Tola 2018). Volgens het bedrijf Neptu GmbH (Karlsruhe, Duitsland; www.neptugmbh.de), verbruikt NeptuThermTM dertig keer minder energie tijdens zijn levenscyclus dan andere isolatiematerialen, zoals glasvezel, glaswol of polystyreen. Het is ook, in tegenstelling tot andere natuurlijke isolatiematerialen zoals hennep, houtvezel of cellulose, schimmelbestendig en rot niet. Tegen het einde van zijn levenscyclus kan het product gemakkelijk in compost worden afgevoerd. Bovendien hoeft NeptuThermTM niet chemisch te worden behandeld om de ontvlambaarheid te verminderen: dit is inherent extreem laag (Gräbe 2013).
Carageen en alginaat zijn inherent vlamvertragende materialen (Zhang et al. 2011, Xue et al. 2017). Analyse van warmteafgifte van polyurethaanschuim (PU) - behandeld met alginaat / klei-aerogel gaf aan dat het vlamvertragende mechanisme bestaat uit een verlaging van de vlamverspreidingssnelheid. Dit wordt bereikt door een hitte-, zuurstof- en rookbarrière te vormen in plaats van door het brandstofgehalte te verlagen (Chen et al. 2016). Deze eenvoudige en goedkope nabehandeling van PU-schuim kan de brandveilige toepassingen ervan uitbreiden. Evenzo verbetert de toevoeging van alginaatvezel aan katoenvezel de vlamvertraging van een bereid katoen / alginaatweefsel (Liu et al. 2017). Bovendien heeft alginaat, net als andere hydrocolloïden, hydrofiele eigenschappen vanwege het grote aantal hydroxylgroepen, die hun waterbindend vermogen verhogen, terwijl het uitstekende filmvormende eigenschappen biedt (Milani & Maleki 2012, Abdul Khalil et al. 2017). Uit onderzoek blijkt dat bijv. hydrocolloïden (en eiwitten) super absorberende eigenschappen hebben in zuiver water en zoutoplossing (0,9 gew.%). Deze zijn vergelijkbaar met synthetische polyacrylaten zoals toegepast in bijvoorbeeld persoonlijke hygiëneproducten voor eenmalig gebruik, zoals babyluiers, luiers voor volwassenen en maandverband (Zohuriaan-Mehr 2009). Deze biobased vlamvertragende stoffen en hydrofiele eigenschappen kunnen de toepassingsgebieden van alginaatvezel vergroten en kunnen een alternatief zijn voor bijvoorbeeld het gebruik van (synthetische) polyacrylaatpolymeren.
LOLIWARETM (Closed Loop Ventures, Hatzimemos / Libby, NY State Venture Fund, VS; www.loliware.com) introduceerde in het voorjaar van 2019 een drinkrietje op basis van zeewier ter vervanging van kunststoffen voor eenmalig gebruik. Volgens het bedrijf maken de producten van LOLIWARE gebruik van LIST (LOLIWARETM Intelligent Seaweed Technologies) om items voor eenmalig gebruik te creëren die zijn ontworpen om op natuurlijke wijze af te breken. Het op zeewier gebaseerde rietje voelt en gedraagt zich als plastic, maar is gemaakt van 100% food grade materialen, waardoor de gebruikerservaring niet leidt tot een verandering in consumentengedrag. Er wordt gericht op een prijs die overeenkomt met die van andere huidige plastic rietje-alternatieven op de markt.
Zeewierbemesting heeft een lange traditie in de landbouw (bijv. Aitken & Senn 1964, Grall & Hall-Spencer 2003), maar pas recent wordt zeewierextract ook gebruikt als bladspray, toepassing op/in de bodem en voor de voorbehandeling van zaden, met overigens controversiële resultaten voor de kwaliteit en de hoeveelheid van verschillende tuinbouwgewassen (Zodape 2001, Kolbe 2005). Het belangrijkste effect van de zeewierpreparaten, na vroege toepassing, was een versnelde groei en ontwikkeling van behandelde planten. Dit resulteert in een toename van de vegetatieve biomassa, waardoor de gewasindex (scheut / zaadverhouding, kruid / knol- verhouding). Dit effect werd duidelijk aangetoond voor voorjaarsgerst, maïs en aardappelen (Kolbe 2005). Het belangrijkste effect van zeewierextract is toe te kennen aan de micro-elementen en plantengroeiregulatoren, zoals auxines, cytokinines, abscisinezuur en oligosachariden (Zodape 2001, Craigie 2011). Het lijkt erop dat de specifieke samenstelling van zeewierextracten met name de vegetatieve ontwikkeling bevordert. Daarom kunnen toepassingen van zeewierextract in vegetatieve plantmaterialen in potplanten van tuinbouw en particuliere huishoudens gunstig zijn (Kolbe & Blue 1998, Kolbe 2005). Zeewierextracten voor de tuinbouw zijn commercieel verkrijgbaar als b.v. MaxicropTM, SeasolTM, KelpakTM en CytokinTM. Gezien de positieve resultaten voor vegetatieve groei en plantgezondheid (Craigie 2011), zou een ander toepassingsgebied voor zeewierextracten in een premium niche het opfokken van gras voor sportvelden, golfbanen, recreatietuinen en parken kunnen zijn met een formule van zeewierextracten speciaal ontwikkeld voor verschillende grassoorten (bijv. een samenstelling van Engels raaigras (*Lolium perenne*) en veldbeemdgras (*Poa pratensis*) wordt het meest gebruikte op voetbalvelden in Europa). Het intensieve, vrijwel ononderbroken gebruik van het speelveld zorgt voor een hoge belasting en vereist een hoge investering in onderhoud (UEFA Pitch Quality Guidelines 2018).

Al deze en vele andere toepassingen van zeewieren en zeewierextracten vereisen een continue aanvoer van hoogwaardige grondstoffen. Om deze uitdaging aan te gaan, is het nodig om geschikte teelttechnologieën te ontwikkelen. Veel van bovengenoemde toepassingen van zeewier is zeesla niet erg geschikt, omdat de inhoudsstoffen maar beperkt in groenwieren aanwezig zijn. Dit beperkt ook de marktontwikkeling van zeesla.

5.1.1 Zeesla als bron voor biobrandstof

De wereldwijde productie van biobrandstof uit landbouwproducten is de afgelopen decennia aanzienlijk toegenomen. Het gebruik van landbouwproducten voor biobrandstoffen leidde tot een stijging van de marktprijzen van belangrijke grondstoffen voor biobrandstoffen, die ook het basisdieet vormen voor het grootste deel van de wereldbevolking, met onvoorspelbare en mogelijk fatale gevolgen voor de landbouwvoedselproductie (Berg 2010). Alternatieve en hernieuwbare bronnen moeten worden geïdentificeerd om op een duurzame manier aan de energiebehoefte te voldoen met een circulair economieprincipe. Het gebruik van zeewier is veelbelovend. De samenstelling van zeewier varieert sterk, afhankelijk van het type zeewier (Kraan et al. 2011). Sommige veel voorkomende soorten, waaronder zeesla, kunnen een toekomstige bron van biobrandstoffen worden als ze duurzaam worden geproduceerd en gebruikt. Ongeveer 80% tot 90% van het zeewier, inclusief zeesla, is water. Dit betekent dat zeewier zeer geschikt is voor methoden voor het maken van biobrandstoffen, zoals anaërobe vergisting om biogas te maken en fermentatie om ethanol te maken. Het groene zeewier heeft ook een hoger cellulosegehalte in vergelijking met zowel rode als bruine zeewieren, dus zeesla is een goede keuze voor de versuikering van biomassa van mariene wieren (Trivedi et al. 2015). Een ander duidelijk voordeel is dat zeesla een hoog koolhydraat (tot 60% drooggewicht) en een zeer laag ligninegehalte (soms sporen) heeft, wat gunstig is voor de omzetting in bio-ethanol (Pádua et al. 2004). De afwezigheid van lignine maakt de energie-intensieve (en dure) voorbehandeling overbodig (Nikolaisen et al. 2011, Trivedi et al. 2015) en koolhydraten in zeesla kunnen efficiënt worden geëxtraheerd met alleen een milde voorbehandeling, gevolgd door enzymatische hydrolyse en worden vervolgens gefermenteerd in aceton, butanol, ethanol en 1,2-propaandiol (van der Wal 2013). Verschillende methoden zijn beschreven voor een efficiënte extractie van koolhydraten in hydrolysaten (waaronder extracties en chemische en enzymatische hydrolyse). Deze hydrolysaten kunnen worden gebruikt als grondstof voor fermentatie tot biobrandstof (Rodriguez et al. 2015). Een goede optie voor milde voorbehandeling voor anaërobe gisting om biobrandstoffen (en biogas) te produceren lijkt de solid-state fermentation (SSF) (Yahmed et al. 2017). In een Deens onderzoek werd voor elke gram onbehandelde zeesla-biomassa tot 0,141 gram ethanol omgezet met behulp van SSF (Nikolaisen et al. 2011). Momenteel zijn suikerriet en suikerbieten 's werelds grootste bronnen voor de vergisting van ethanol, met ethanol opbrengsten 0,6 g / g ethanol uit suikerrietmelasse en 0,5 g / g ethanol uit suikerbiet (Vučurović & Razmovski 2012, Muruaga et al.2016).

Hoewel de productie van ethanol uit zeesla goed mogelijk is blijkt deze nog niet concurrerend in vergelijking met traditionele gewassen die voor biobrandstoffen worden gebruikt, zoals suikerriet en suikerbieten, en ook niet in vergelijking met conventionele minerale bronnen (olie, gas). Toch kunnen er in de toekomst veel factoren zijn die de productie van biobrandstoffen uit zeesla haalbaarder kunnen maken.

Om de waarde van zeesla -biomassa te maximaliseren, lijkt een bioraffinage met een cascade-aanpak zoals hieronder beschreven veelbelovend (Vergara 2019). Met behulp van een bioraffinage-aanpak zou de volledige biomassa van zeesla voor verschillende doeleinden kunnen worden gebruikt en zou het mogelijk zijn eerst hoogwaardige producten te extraheren, waarna een potentiële koolstofbron beschikbaar blijft voor verdere verwerking in een cascade-stroom (Reith 2005, Vergara 2019). Naast biobrandstof kan zeesla-biomassa worden gebruikt voor voedsel, diervoeder, medicijnen, papier en kunstmest. Ulvan bijvoorbeeld (een celwandpolysacharide dat bijdraagt aan 9 tot 36% droog gewicht van zeesla-biomassa) heeft potentiële toepassingen in de ontwikkeling van biomateriaal (wondverband, weefseltechniek, biofilmpreventie), nutraceuticals (antivirale, antioxidant, antihyperlipidemie, antikanker en immunostimulerend), functionele (gezondheid-bevorderende) levensmiddelen en landbouw (Lahaye & Robic 2007, Alves et al. 2013, Cunha & Grenha 2016). De geschatte prijs voor ulvan is € 75.000 / ton (Vergara 2019).

Door bioraffinage en fermentatie omgezette zeesla biomassa kan dienen als biobrandstof en verder als vervanging van petrochemisch geproduceerde energiedragers in de markt voor bulkchemicaliën (López-Contreras et al. 2010, 2012, Green 2011).

5.1.2 Composteren van zeesla

Compostering van zeesla wordt beschouwd als een van de beste technieken om zeewierbiomassa te gebruiken vanuit een technologisch, economisch en milieuoogpunt (Vallini et al. 1993, Eyras et al. 1998, Han et al. 2014). Het principe van composteren is de aerobe behandeling van biologisch afbreekbaar organisch afval om natte organische stoffen (als kunstmest) te produceren voor gebruik in de landbouw. Momenteel is biotransformatie in compost de meest eenvoudige en snelste manier om gebruik te maken van zeesla-biomassa. Bovendien is aangetoond dat de chemische, fysische en biologische kenmerken van zeesla-compost vergelijkbaar zijn met commerciële bodemverbeteraars en groeimedia die op de markt verkrijgbaar zijn (Cuomo et al. 1995). Deze composteigenschappen zijn niet alleen relevant voor de biologische stabiliteit van de compost (organisch materiaal en het gehalte aan zware metalen), maar ook voor de reactie van de plantengroei. Naast de chemische analyse wordt de kwaliteit van zeewiercompost (en bladsprays van zeewierextracten) ook beoordeeld door onderzoek aan de bovengrondse ontwikkeling van biomassaproductie.

De teelt op verschillende verhoudingen van zeewiercompost levert controversiële resultaten over kwaliteit en kwantiteit van verschillende tuinbouwgewassen (Eyras et al. 1998, Zodape 2001, Kolbe 2005, Mendo et al. 2006). Het belangrijkste effect van de zeewiercompost was een versnelde groei en ontwikkeling van de behandelde planten, die een toename van de vegetatieve biomassa vertoonden, wat bijgevolg resulteerde in een verminderde gewasindex (verhouding scheut / zaad, verhouding kruid / knol) wat in het nadeel is van het gewenste gewas. Dit werd duidelijk aangetoond voor voorjaarsgerst, maïs en aardappelen (Kolbe & Blue 1998, Kolbe 2005). Tomatenplanten vertoonden daarentegen een verhoogde plantproductiviteit, vruchtkwaliteit en volwassenheid in samenhang met de geleverde doses zeesla-compost. Een hoger percentage zeesla-gehalte van de compost resulteerde in hogere groeisnelheden en verbeterde plantgezondheid (Eyras et al. 1998). Soortgelijke resultaten voor hoge groeisnelheden met zeesla-compost werden gevonden voor tuinkers en radijs (Michalak et al. 2017). De Germination Index (GI), die werd gedefinieerd als het product van relatieve zaadkieming en relatieve wortelgroei (Tiquia & Tam 1998), werd uitzonderlijk hoog gevonden in kiemproeven met gecomposteerd zeewier (Castaldi & Melis 2002, Cocozza, 2011). Een hoge GI duidt op een verhoogde stimulatie in plantwortel en luchtgroei, wat dus sneller leidt tot volwassenheid van de plant, wat op zijn beurt een vroege oogst mogelijk maakt. Het belangrijkste effect van zeewiercompost (en extract) is te wijten aan de micro-elementen en plantengroeiregulatoren, zoals auxines, cytokinines, abscisinezuur en oligosachariden (Zodape 2001, Craigie 2011). Het lijkt erop dat de specifieke samenstelling van zeewier vooral de vegetatieve ontwikkeling bevordert. Binnen het Port4Innovation project is dit getest op wortelen, peen, ui en bieten.

Bovendien verbeterde zeewiercompost ook het vermogen om grondwater vast te houden en een verhoging van de plantweerstand tegen waterstress bij tomaten (Eyras et al. 1998) en suikerriet (Cole et al. 2016), wat een belangrijk aspect is voor landbouwactiviteiten in droge gebieden en / of op zandige leemgronden (Eyras et al. 1998, Mendo et al. 2006).
Het composteren van zeewierbiomassa biedt echter ook enkele uitdagingen die moeten worden aangepakt. Bijzonderheden van het composteren van zeesla-biomassa zijn bijvoorbeeld een relatief lage verhouding koolstof tot stikstof (C / N), wat kan leiden tot:

- een verlies van stikstof als ammonium (NH_3) en zelfs stikstofoxide (N_2O; lachgas) naar de atmosfeer;
- een hoog vochtgehalte gecombineerd met een lage porositeit, waardoor het doordringen van lucht in de bodem moeilijk(er) is;
- potentieel hoog zoutgehalte door aangehecht zeewater, wat nadelige gevolgen kan hebben voor de microbiota in composteringsprocessen;
- mogelijk verhoogd metaalgehalte en toxines, die de toepassing als meststof kan beperken (Han et al. 2014).

Deze effecten kunnen worden overwonnen door de zeesla-mest te combineren met andere compostmaterialen, zoals stro, houtkrullen, zaagsel en ander organisch afval (koeienmest, varkensslib) waardoor een mengsel ontstaat dat geschikter is voor compostering (Cuomo et al. 1995, Eyras et al. 1998, Tiquia & Tam 1998, Han et al. 2014).

Concluderend kan gesteld worden dat het gebruik van compost afkomstig van zeesla-biomassa een nuttige methode is om organische materie in gecultiveerde bodems voor specifieke gewassen te integreren, de toepassing van minerale meststoffen te verminderen en het verlies aan voedingsstoffen in water te beperken, en aldus bij te dragen aan inspanningen om eutrofiëring te verminderen.

5.1.3 Zeesla als veevoer

Zeesla kan net als andere zeewieren een bijdrage leveren als voedsel voor verschillende organismen, inclusief mensen. Doorgaans bevatten zeewieren hoge gehalten aan eiwitten, met name rode zeewieren, en zijn gehaltes in zeesla vergelijkbaar met die van groenten (Fleurence & Dumay, 2017). In het algemeen worden zeewieren als voedsel echter vooral gewaardeerd vanwege het gehalte aan mineralen of de functionele eigenschappen van hun polysachariden (Fleurence & Dumay, 2017). In de aquacultuur wordt zeesla verwerkt en toegepast als voer voor onder meer vis en schelpdieren, bijvoorbeeld voor zeeoor (*Haliotus* spp.).

Voor toepassing van zeewier als diervoer wordt momenteel veel onderzoek verricht, zowel voor herkauwers (zoals koeien en schapen) (Machado et al., 2015;Maia et al., 2016; Tayyab et al, 2016; Rjiba-Ktita et al., 2017) als voor eenmagige herbivoren (zoals paarden en varkens) (Bikker et al., 2016).

Er is gesteld dat zeesla potentieel bij kan dragen aan een verminderde methaan productie, maar dat verder onderzoek hiernaar nodig is. Ook wordt gewaarschuwd dat er niet onbeperkt kan worden bijgevoerd met zeesla, omdat de snelheid en mate van afbreekbaarheid beperkt is. Daarnaast hebben extracten verbeterde eigenschappen ten opzichte van intact zeesla.

5.1.4 Zeesla als voedsel

Het groenwier zeesla (*Ulva* spp.) is één van de inheemse soorten die in Nederland die voor (verwerking in) voedsel in aanmerking komen[9]. Andere soorten die in aanmerking komen zijn de bruinwieren Suikerwier (*Saccharina lattisima*), Vingerwier (*Laminaria digitata*), Knotswier (*Ascophyllum nodosum*), Blaaswier (*Fucus vesiculosus*) en het roodwier Dulse (*Palmaria palmata*), waarvan betwijfeld wordt of het wel een inheemse soort is. Daarnaast is ook Wakame (*Undaria pinnatifida*) geschikt voor consumptie. Ook deze soort komt in de Oosterschelde voor, maar vast staat dat dit een exoot is afkomstig uit Azië.

Vergeleken met landplanten heeft zeesla een hoog eiwitgehalte en andere gunstige voedingswaarden (zie verzamelde gegevens van Kazir et al. 2019, Taboada et al., 2010). Op basis van het drooggewicht is het eiwitgehalte 7-24% het koolhydraatgehalte 14-40%. De eiwitten bestaan voor een aanzienlijk deel uit essentiële aminozuren en de samenstelling lijkt sterk op die van ei ovalbumine. Ook bevat zeesla kleine fracties van mineralen, vetten, phytochemicaliën, vitaminen (A, B, C) en mineralen (calcium, magnesium, kalium, jodium en ijzer) (Zeewierwijzer.nl). Het kan goed rauw worden gegeten als salade, of gedroogd. Ook kan het als groente in diverse gerechten worden toegepast; kort gekookt, gebakken of in de oven.

[9] https://ec.europa.eu/food/safety/novel_food/catalogue_en

5.2 Conclusies

- Er zijn vele mogelijke toepassingen van zeesla en andere zeewieren. Voor zeesla zijn goede toepassingen mogelijk als biobrandstof, voor het composteren tot meststof voor de landbouw en voor rauw of verwerkt te gebruiken als voedsel voor de mens en vee.

6 Conclusies en aanbevelingen

Om de haalbaarheid van het op gang brengen van een aanvoerstroom van zeesla uit de Waddenzee te beoordelen zij voor dit onderzoek een aantal vragen opgesteld waarop hieronder voor zover mogelijk antwoord zal worden gegeven.

Ecologische vragen:

- Welke zeewieren komen in het ecosysteem van de Waddenzee voor, hoeveel en wanneer?

In de Waddenzee komt vooral zeesla voor, bestaand uit verschillende bladvormige soorten van het geslacht *Ulva*. Voor twee opeenvolgende jaren is de totale biomassa bepaald in de Waddenzee, dit was ca 2,6 en 3,6 miljoen kg in de nazomer van respectievelijk 2018 en 2019. In deze periode van het jaar bereikt de biomassa zijn piekwaarde. Over de groei gedurende het seizoen is minder bekend. Van belang is te weten welk deel van het zeesla de winterperiode kan overleven en in het voorjaar levensvatbaar is voor verdere groei.

- Wat zijn de mogelijke effecten op het ecosysteem van het vangen van zeewier?

Uit literatuur blijkt dat zeesla nauwelijks door dieren gegeten wordt en dus weinig van belang lijkt als voedselbron. Er is in deze studie wel een positieve correlatie gevonden tussen zeesla en de aanwezigheid van bepaalde vissoorten die blijkbaar op dezelfde plaatsen aanwezig zijn als zeesla. De ecologische betekenis hiervan is echter nog niet bekend. Het wegvangen van een deel van het zeesla zal waarschijnlijk weinig invloed hebben op de omvang van het zeesla bestand voor het volgende jaar, maar onderzoek is nodig om dit te staven.

Juridische vragen:

- Zijn er vergunningen nodig voor het vangen van zeewier en aan welke kwaliteitseisen moeten (producten van) zeewier?

Voor het opvissen van zeesla als bijvangst in de garnalenvisserij is geen afzonderlijke vergunning nodig. Tenminste 70% van de vangst moet uit garnalen bestaan. Zeesla is geen beschermde soort waarvoor beperkingen gelden voor vangst. Voor het verzamelen van zeewier uit het natuurgebied Waddenzee kan echter wel een vergunning nodig zij op basis van de wet natuurbescherming.
Voor de toepassing van zeesla en zeewier in het algemeen als voedsel en diervoer gelden bepaalde kwaliteitseisen ten aanzien van de aanwezigheid van verontreinigingen zoals zware metalen. Onduidelijk is of in de Waddenzee aan deze grenswaarden kan worden voldaan.

Technische en economische vragen:

- Wat is de vangbaarheid en wat is de mogelijke omvang van oogst te opzichte van de inspanning die geleverd moet worden om zeewier te vangen?

Met een regulier garnalenvistuig is het mogelijk om in de nazomer binnen zeer korte tijd grote hoeveelheden zeesla te vangen. Daarna moet het echter aan boord gesorteerd worden om het te ontdoen van andere organismen en te spoelen voor het verwijderen van zand en slib. Dit neemt veel tijd in beslag. Met aangepaste netten, bijvoorbeeld grotere maaswijdtes en door boven de waterbodem te vissen kan waarschijnlijk veel bijvangst en vervuiling met zand en slib worden vermeden. Het zeesla moet aan boord opgeslagen kunnen worden en dient zo snel mogelijk aan land te worden gebracht om een goede kwaliteit te behouden. Aan land dient het snel verder verwerkt te worden, bij voorkeur gedroogd om inhoudsstoffen intact te houden.

- Welke kosten worden gemaakt bij het verzamelen van zeewier uit zee?

De kosten van visserij bestaan, naast de afschrijvingen voor het schip, vooral uit stookkosten en de bemensing van het schip. Voor het sorteren en schoonmaken van de vangst is relatief veel tijd en dus menskracht nodig. De prijs voor het zeesla moet daardoor voldoende zijn om de visserij aantrekkelijk

te maken. Bij lage prijzen zal de visserij op garnalen de voorkeur van vissers hebben, ook al zijn de dichtheden van zeesla hoog.

Vooralsnog lijkt het economisch onaantrekkelijk om een grootschalige zeesla visserij op te zetten. Hiervoor is een verbetering van vangstmethoden nodig en meer inzicht in de variatie in de componenten-samenstelling van het op die wijze gevangen zeesla nodig. Ook zijn er nog ecologische vragen te beantwoorden over de effecten van de winning van zeesla op het ecosysteem van de Waddenzee.

7 Kwaliteitsborging

Wageningen Marine Research beschikt over een ISO 9001:2015 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. Dit certificaat is geldig tot 15 december 2021. De organisatie is gecertificeerd sinds 27 februari 2001. De certificering is uitgevoerd door DNV GL.

Literatuur

Abdul Khalil, H.P.S., Ye, Y.Y., Chow, S.T., Saurabh, C.K., Paridah, M.T., Dungani, R. and Syakir M.I. 2017 Cellulosic pulp fiber as reinforcement materials in seaweed-based film. *BioResources* 12:29–42.

Aitken, J.B. and Senn, T.L. 1964. Seaweed products as a fertilizer and soil conditioner for horticultural crops. *Bot. Mar.* 8(1):144-147.

Alves, A., Sousa, R.A. & Reis, R.L. 2013. A practical perspective on ulvan extracted from green algae. *J. Appl. Phycol.* 25:407-424.

Balata, G. and Tola, A. 2018. Cost-opportunity analysis of the use of *Posidonia oceanica* as a source of bio-energy in tourism-oriented territories. The case of Alghero. *J. Clean. Prod.* 172:4085-4098.

Berg, C. F.O. 2010. Licht's World Sugar Yearbook; F.O. Licht GMBH: Ratzeburg, Germany, pp D5−D11.

Biancarosa, I., I. Belghit, C.G. Bruckner, N.S. Liland, R. Waagbø, H. Amlund, S. Heeschd & E-J. Lock. 2017. Chemical characterization of 21 species of marine macroalgae common in Norwegian waters: benefits of and limitations to their potential use in food and feed. J Sci Food Agric 2018; 98: 2035–2042.

Bos, O.G., A. Gittenberger, I.J. de Boois, M. van Asch, J.T. van der Wal, J. Cremer, B. van der Hoorn, S. Pieterse & P.A.J. Bakker, 2016. Soortenlijst Nederlandse Noordzee. Wageningen University & Research Rapport C125/16A.

Carl, C., R. de Nys, R.J. Lawton & N.A. Paul, 2014. Methods for the Induction of Reproduction in a Tropical Species of Filamentous Ulva. PLoS ONE 9(5): e97396. doi:10.1371/journal.pone.0097396

Castaldi, P. & Melis, P. 2002.Composting of *Posidonia oceanica* and its use in agriculture*. Microbiol. Compost*. 1:425-434.

Chen, H.-B., Shen, P., Chen, M.-J., Zhao, H.-B. and Schiraldi, D.A. 2016. Highly Efficient Flame Retardant Polyurethane Foam with Alginate/Clay Aerogel Coating. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 47:32557-32564.

Cocozza, C., Parente, A., Zaccone, C, Mininni, C., Santamaria, P. & Miano, T. 2011. Comparative Management of offshore Posidonia residues: composting vs. energy recovery. *Waste Manage.* 31:78-84.

Cole, A.J., Roberts, D.A., Garside, A.L., Nys de, R. & Paul, N.A. 2016. Seaweed compost for agricultural crop production. *J Appl. Phycol.* 28:629-642.

Craigie, J.S. 2011. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *J. Appl. Phycol.* 23:371-393.

Cunha, L. & A. Grenha, A. 2016. Sulfated seaweed polysaccharides as multifunctional materials in drug delivery applications. Marine Drugs 14.

Cuomo, V., Perretti, A., Palomba, I., Verde, A. & Cuomo, A. 1995. Utilization of *Ulva rigida* in the Venice Lagoon (Italy): biotransformation in compost. *J. Appl. Phycol*. 7:479-485.

De Jonge, V.N., K. Essink & R. Boddeke, 1993. The Dutch Wadden Sea: a changed ecosystem. Hydrobiologia 265: 45-71.

Diop M., M. Howsam, C. Diop, J.F. Goossens, A. Diouf & R. Amara. 2016. Assessment of trace element contamination and bioaccumulation in algae (Ulva lactuca), mussels (Perna perna), shrimp (Penaeus kerathurus), and fish (Mugil cephalus, Saratherondon melanotheron) along the Senegalese coast Marine Pollution Bulletin 103: 339–343

Eyras, M.C., Rostagno, C.M. & Defossé, G.E. 1998. Biological evaluation of seaweed composting. *Compost Sci. Utilizat.* 6:74-81.

Geertz-Hansen O., K. Sand-Jensen, D.F. Hansen & A. Christiansen, 1993. Growth and grazing control of abundance of the marine macroalga, Ulva lactuca L. in a eutrophic Danish estuary. Aquatic Botany, 46 (1993) 101-109.

Gittenberger A., M. Rensing, R. Dekker, P. Niemantsverdriet, N. Schrieken & H. Stegenga, 2015. Native and non-native species of the Dutch Wadden Sea in 2014. GiMaRIS report 2015_08.

Gräbe, I. 2013. *Seaweed under the roof.* Research News Fraunhofer-Gesellschaft, Munich, Germany, pp. 5-6.

Grall, J. and Hall-Spencer, J.M. 2003. Problems facing maerl conservation in Brittany. *Aquatic Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* 13:55-64.

Green, E.M. 2011. Fermentative production of butanol: the industrial perspective. *Curr. Opinion Biotechnol.* 22:1-7.

Groenendijk (ed). et al., 2016. North-Sea-Weed-Chain – Sustainable seaweed from the North Sea; an exploration of the value chain. IMARES, (Report / IMARES C055/16) - 94 p.

Haritonidis,S. & P. Malea. 1999. Bioaccumulation of metals by the green alga Ulva rigida from Thermaikos Gulf, Greece. Environmental Pollution 104: 365-372.

Han, W., Clarke, W. & Pratt, S. 2014. Composting of waste algae: a review. *Waste Managem*. 34:1148-1155.

Henriques B., A. Teixeira, P. Figueira, A.T. Reis, J. Almeida, C. Vale & E. Pereira. 2019. Simultaneous removal of trace elements from contaminated waters by living Ulva lactuca. Science of the Total Environment 652: 880–888.

Kamermans P., E-J. Malta, J.M. Verschuure, L. Schrijvers, L.F. Lentz & A. Tjin A. Lien, 2002. Effect of grazing by isopods and amphipods on growth of Ulva spp. (Chlorophyta). Aquatic Ecology 36: 425–433.

Kolbe K., E. Kaminski, H. Michaelis, B. Olbert & J. Rahmel, 1995. Macroalgal mass development in the Wadden Sea: first experiences with a monitoring system. Helgoländer Meeresuntersuchungen 49: 519-528.

Kolbe, H. and Blau, B. 1998. Wirkung von Pflanzenstärkungsmitteln auf verschiedene Kulturarten. [Effect of bio-stimulants on different horticultural crops.] Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft 3(5), pp. 1-45.

Kolbe, H. 2005. Einsatz von Algen-Präparaten als Pflanzenstärkungsmittel im konventionellen und ökologischen Land- und Gartenbau? [Use of seaweed extracts as bio-stimulants in conventional and horticultural crop production?] Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft 1, pp. 1-9. http://orgprints.org/6368.

Kraan, S. 2011. Mass-cultivation of carbohydrate rich macroalgae, a possible solution for sustainablebiofuel production. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*: 1-20.

Lahaye, M. & Robic, A. 2007. Structure and functional properties of ulvan, a polysaccharide from green seaweeds. *Biomacromolecules* 8:1765-1774.

Leote, C., Mulder, L. L., Philippart, C. J. M., and Epping, E. H. G. (2016). Nutrients in the western wadden sea: freshwater input versus internal recycling. Estuaries Coast. 39, 40–53. doi: 10.1007/s12237-015-9979-6.

Liu, Y., Zhao, J.-C., Zhang, C.-J., Cui, L., Guo, Y., Zhu, P., Zhang, H., Zheng, Z.-W. and Wang, D.-Y. 2017. Flame retardancy and thermal degradation properties of cotton/alginate fabric. *J. Therm. Anal. Calorim*. 127(2):1543.

Locatelli C. 1999. Sea water quality criteria by Bioindicators. Possible classification based on metal contents in *Ulvarigida* and *tapesphilippinarum* , Toxicological & Environmental Chemistry, 71:3-4, 435-446, DOI: 10.1080/02772249909358813.

López-Contreras, A.M., Harmsen, P., Blaauw, R., Bakker, van Hal, R.J., Reith, H., Veenstra, F., Brandenburg, W. & van Haveren, J. 2012. *Seaweed biorefinery: production of fuels and chemicals from native North Sea seaweed species EFIB*. 2012, 17-19 October 2012, Düsseldorf (Germany).

López-Contreras, A.M., Kuit, W., Siemerink, M.A.J., Kengen, S.W.M., Springer, J. & Claassen, P.A.M. 2010. Production of longer-chain alcohols from lignocellulosic biomass: butanol, isopropanol and 2,3-butanediol. In: K. Waldron (eds.) *Bioalcohol production*. Woodhead Publishing, Cambridge (UK), pp. 415-460.

Malta, E-j, 2000. Macroalgal mats in a eutrophic lagoon : dynamics and control mechanisms. Thesis Katholieke Universiteit Nijmegen.

Mendo, T., Wosnitza, A. & Barrantes, J.G. 2006. Utilization of *Ulva* sp in Paracas Bay (Peru): experimenting with compost. *J. Appl. Phycol.* 18:27-31.

Michalak, I., Wilk, R. & Chojnacka, K. 2017. Bioconversion of Baltic seaweeds into organic compost. Waste Biomass Valor. 8:1885-1895.

Milani, J. and Maleki, G. 2012. *Hydrocolloids in food industry*. in Food industrial processes - methods and equipment (ed. Valdez, B.) InTech, Rijeka, pp. 17–21.

Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2016). Natura 2000-beheerplan Waddenzee.

Muruaga, M.L., Carvalho, K.G., Domínguez, J.M., Pinheiro de Souza Oliveira, R. & Perotti, N. 2016. Isolation and characterization of *Saccharomyces* species for bioethanol production from sugarcane molasses: studies of scale up in bioreactor. *Renewable Energy* 85:649-656.

Niesenbaum R.A., 1988. The ecology of sporulation by the macroalga Ulva lactuca L. (Chlorophyceae). Aquatic Botany 32: 155-166.

Nikolaisen, L., Daugbjerg-Jensen, P., Svane Bech, K., Dahl, J., Busk, J., Brødsgaard, T., Rasmussen, M.B., Bruhn, A., Bjerre, A.B. & Bangso Nielsen, H. 2011. Energy production from marine biomass (*Ulva lactuca*). *Danish Technol. Instit*. PSO Project 2008-1-0050; orbit.dtu.dk

NLWKN, 2017. Überwachung von Makroalgen im niedersächsischen Wattenmeer – Datazusammenstellung 1990 bis 2016. Dienstbericht NLWKN Betriebsstelle Brake-Oldenburg, 27 S.

Peletier, 1992. Metingen van blomassa, pigmenten en fotosynthese van zeesla (ulva species) op enkele locaties in de westelijke Waddenzee in de periode 1988 t/m 1991. RAPPORT DGW-92.005.

Pádua, M.D., Fontoura, P.S.G. & Mathias, A.L. 2004. Chemical composition of *Ulvaria oxysperma* (Kützing) bliding, *Ulva lactuca* (Linnaeus) and *Ulva fascita* (Delile). *Braz. Arch. Biol. Technol*. 47:49-55.

Reith, J.H., Deurwaarder, E.P., Hemmes, K., Curvers, A.P.M.W., Kamermans, P., Brandenburg, W. & Zeeman, G. 2005. *Bio-offshore; grootschalige teelt van zeewieren in combinatie met offshore windparken in de Noordzee.* ECN rapport C--05-008 (in Dutch).

Rodriguez, C., Alaswad, A., Mooney, J., Prescott, T. & Olabi, A.G. 2015. Pre-treatment techniques used for anaerobic digestion of algae. *Fuel Process. Technol.* 138:765-779.

Stegenga, H. & I. Mol, 1983. Flora van de Nederlandse Zeewieren. Koninklijke Natuurhistorische Vereniging, Hoogwoud, The Netherlands.

Tiquia, S.M. & Tam, N.F.Y. 1998. Elimination of phytotoxicity during composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge. *Bioresour. Technol.* 65:43-49.

Trivedi, N., Reddy, C.R.K., Radulovich, R. & Jha, B. 2015. Solid state fermentation (SSF)-derived cellulase for saccharification of the green seaweed *Ulva* for bioethanol production. *Algal Res* 9:48-54.

Tulp I., L.J. Bolle & A.D. Rijnsdorp, 2008. Signals from the shallows: In search of common patterns in long-term trends in Dutch estuarine and coastal fish. Journal of Sea Research 60: 54-73. https://doi.org/10.1016/j.seares.2008.04.004.

UEFA Pitch Quality Guidelines – Natural turf pitch management – 2018 edition. UEFA, Genève, Switzerland, pp. 4-48.

Uribe E., A. Vega-Gálvez, V. García, A. Pastén, J. López & G. Goñi, 2018. Effect of different drying methods on phytochemical content and amino acid and fatty acid profiles of the green seaweed, Ulva spp. Journal of Applied Phycology DOI: 10.1007/s10811-018-1686-9

Vallini, G., Pera, A., Cecchi, F., Valdrighi, M.M. & Sicurani, M.A. 1993. Compost stabilization of algal biomass drawn in eutrophic lagoon ecosystems. *Compost Sci. Utilizat.* 1(2):49-53.

Van de Burg, S.W.K., A.P. van Duijn, H. Bartelings, M.M. van Krimpen & M. Poelman, 2016. The economic feasibility of seaweed production in the North Sea. Aquaculture Economics & Management, 20: 235-252.

Van den Hoek, C., W. Admiraal, F. Colijn & V.N. de Jonge, 1979. The role of algae and seagrasses in the ecosystem of the Wadden Sea: a review. In W.J. Wolff (ed), Flora and vegetation of the Wadden Sea. Balkema, Rotterdam: 9-118.

Van der Wal, H., Sperber, B.L.H.M., Houweling-Tan, B., Bakker R.R.C., Brandenburg, W. & López-Contreras, A.M. 2013. Production of acetone, butanol, and ethanol from biomass of the green seaweed *Ulva lactuca*. *Biores. Technol.* 128:431-437.

Veenstra F & J. Hoek, 2016. Zeesla, van latige bijvangst tot nieuw visserij product: Ulva-mest. Rapportage Business Case. Investering in duurzame visserij. IMARES, 2016.

Vergara, L. 2019. Valorisation of the Ulva value chain. ECN part of TNO (Petten, The Netherlands), July 23, 2019.

Vermaat, J. E. & K. Sand-Jensen. 1987. Survival, metabolism and growth of Ulva lactuca under winter conditions: a laboratory study of bottlenecks in the life cycle. Marine Biology 95: 55-61.

Villares, R., X. Puente & A. Carballeira. 2002 Seasonal variation and background levels of heavy metals in two green seaweeds. Environmental Pollution 119: 79–90.

Vučurović, M. & Razmovski, R.N. 2012. Sugar beet pulp as support for *Saccharomyces cerivisiae* immobilization in bioethanol production. *Industrial Crops and Products* 39:128-134.

Xue, Z., Zhang, W., Yan, M., Liu, J., Wang, B. and Xia, Y. 2017. Pyrolysis products and thermal degradation mechanism of intrinsically flame-retardant carrageenan fiber. *RSC Adv.* 7:25253.

Yahmed, N.B., Carrere, H., Marzouki, M.N. & Smaali, I. 2017. Enhancement of biogas production from *Ulva* sp. by using solid-state fermentation as biological pretreatment. *Algal Res.* 27:206-214.

Zhang, J., Ji, Q., Shen, X., Xia, Y., Tan, L. and Kong, Q. 2011. Pyrolysis products and thermal degradation mechanism of intrinsically flame-retardant calcium alginate fibre. *Polym. Degrad. Stab.* 96:936-942.

Zodape, S.T. 2001. Seaweeds as a biofertilizer. *J. Sci. Ind. Res.* 60:378-382.

Zohuriaan-Mehr, M.J. 2009. Protein- and homo poly(amino acid)-based hydrogels with super-swelling properties. *Polym. Adv. Techn*. 20(8):655-671.

Verantwoording

Rapport C048/20
Projectnummer: 4315100064

Dit rapport is met grote zorgvuldigheid tot stand gekomen. De wetenschappelijke kwaliteit is intern getoetst door een collega-onderzoeker en het verantwoordelijk lid van het managementteam van Wageningen Marine Research

Akkoord: Reinier W. Nauta
Projectleider - Onderzoeker Zeewier

Handtekening:

Datum: 8 juni 2020

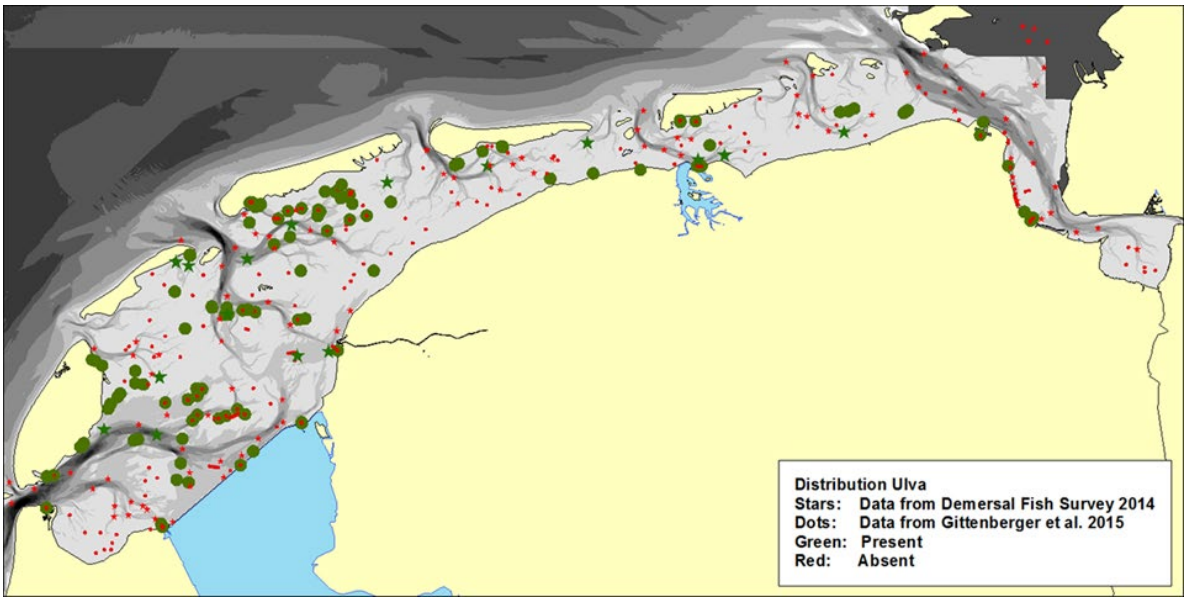
Akkoord: Jakob Asjes
Manager Integratie

Handtekening:

Datum: 8 juni 2020

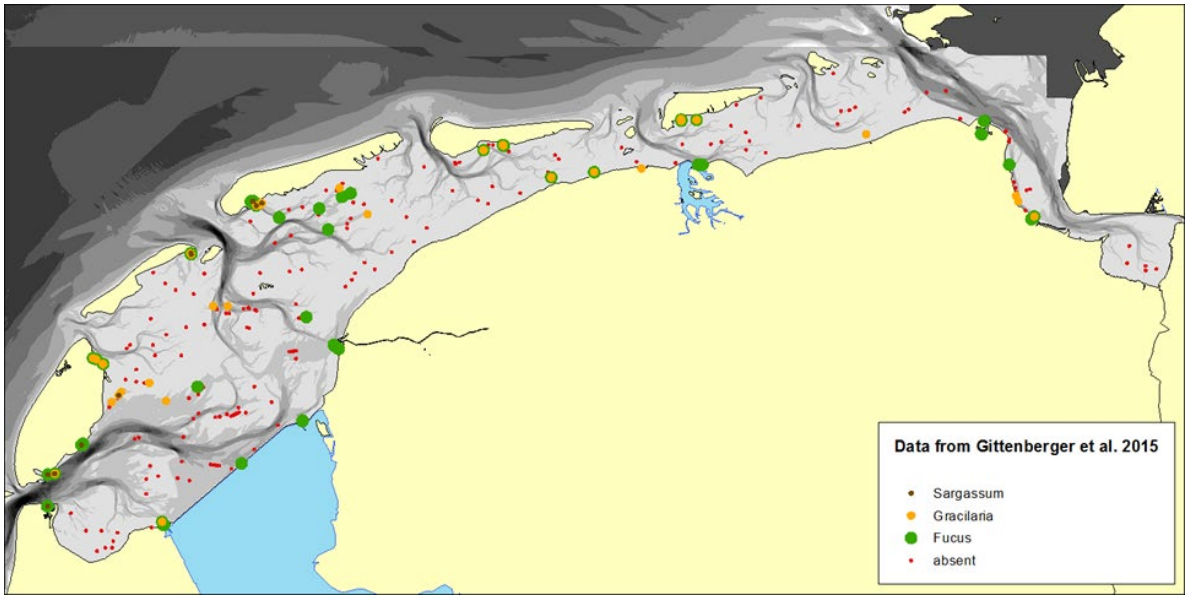
Bijlage 1 Zeewieren inde Waddenzee

Om een kwalitatief beeld van de verspreiding van zeesla te krijgen zijn (aan- /afwezigheids) gegevens



van de survey van Gittenberger et al. (2015), uitgevoerd in de nazomer van 2014, en de DFS gegevens van dezelfde periode in 2014 gecombineerd. Uit onderstaande GIS-kaart blijkt dat zeesla wijd verspreid is in de Waddenzee en met name aangetroffen wordt in en langs de randen van de diepere geulen van de kombergingsgebieden in het westen van de Waddenzee. Lokaal is het ook langs de kusten van de vaste wal van de Eems-Dollard, de afsluitdijk en Friesland aangetroffen. Zeesla is minder aanwezig in de ondiepe delen en op droogvallende platen van de Waddenzee.
Ook de verspreiding van een aantal andere, potentiële soorten voor verwerking tot producten, in kaart gebracht. Het gaat hier om de verspreiding van Japans bessenwier (*Sargassum muticum*), Knoopwier (*Gracilaria* spp.) en Blaaswier (*Fucus vesiculosus*) in de Waddenzee in 2014 op basis van gegevens van Gittenberger et al. 2015.

Bron: Gittenberger A., M. Rensing, R. Dekker, P. Niemantsverdriet, N. Schrieken & H. Stegenga, 2015. Native and non-native species of the Dutch Wadden Sea in 2014. GiMaRIS report 2015_08.



Bijlage 2 Verzameld zeesla Pilot

Pilot-vistocht

Gevist is vanuit Den Oever in de omgeving van het visjagersgaatje met de WR117. Na een trek van 18 minuten bij een snelheid van ca. 3,3 knopen en een waterdiepte van ca. 5 m is een vangst van ca. 25 kilo binnen gehaald en uitgestort over uitzoekbakken. De vangst bevatte ca. 25 kilo garnalen, en bevatte als bijvangst zeewieren (zie foto's hieronder), visjes (kleine zeenaald, dwergtong, grondels, bliek) en ongewervelde dieren (zeesterretjes, krabben, vlokreeftjes).
Alle zeewier werd uit de opvangbak gehaald. Het sorteren nam ongeveer een half uur in beslag. Desondanks waren er nog steeds garnalen tussen het zeewier aanwezig en ook waren er aangehechte organismen op de thalli van zeesla aanwezig, zoals anemoon, zeesterretjes en epifytische soorten zeewier. Het zeesla is verder gescheiden van de rest van de vangst en voorzichtig uitgeknepen om het van water te ontdoen. Dit heeft ca. 1,5 uur geduurd. Dit zeesla was relatief schoon (geen slib, geen slecht uitziend zeewier) en het natgewicht was ca. 2,4 kg. Al met al veel werk voor een geringe opbrengst aan (schoon) zeesla.

Linker foto: Thalli van zeesla, (bladvormige Ulva).
Rechter foto: Knoopwier (Gracilaria spec., rechts onder), Darmwier (buisvormig Ulva spec., midden onder), Visdraadwier (Chaetomorpha, links), Roodwieren (o.a. Ceramium, midden boven), stukje Blaaswier (Fucus vesiculosus, forma mytili, midden), en het rode Tongwier (Hypoglossum hypoglossoides, midden links boven).

DFS survey

Jaarlijks worden in de Waddenzee surveys uitgevoerd (Demersal Fish Survey; DFS) door Wageningen Marine Research met een garnalennet om de verspreiding en dichtheden van demersale vis in kaart te brengen (Tulp et al., 2008). Op ongeveer honderd locaties wordt op een gestandaardiseerde manier tussen augustus en oktober gevist volgens een vast protocol. Gebruik wordt gemaakt van een 3,5 m boomkor met een grondpees met rubber rollers en een wekkerketting. De maaswijdte van het net is 20 mm (gestrekt). De trekken worden i de richting van de getijdestroom uitgevoerd, duren 15 minuten met een vaarsnelheid van 2-3 knopen. Monster voor verder analyse van zeesla zijn genomen op 30 augustus in het zuid westelijke deel van de Waddenzee, in het gebied tussen de haven van Den Oever en Texel. De vangst werd handmatig gesorteerd, waarbij vissen en ongewervelden, waaronder garnalen, werden verwijderd. In een wasmand met aan de binnenzijde bedekking met kaasdoek, werd de zeesla voorzichtig gespoeld met als doel het aangehechte zand en slib zoveel mogelijk te

verwijderen. Het bleek dat er nog steeds andere organismen, vooral garnalen, maar ook andere ongewervelde en visjes, aanwezig waren en deze werden zoveel mogelijk verwijderd. Vervolgens werd het zeesla in viskratten overgebracht en naar het laboratorium getransporteerd. Hier het water afgeschud en werd het zeesla in ritszakken gestopt. Deze zakken met een natgewicht van ca. 2-3 kg werden in de vriezer bij -80°C bewaard tot verdere analyse.

In onderstaande tabel staan de monsters die zijn aangeboden voor verdere analyse op inhoudsstoffen. De locatie code en nr. refereert naar het zeesla-monster, de nat gewichten (in kg) werden bepaald voorafgaand aan het invriezen, daarnaast zijn de coördinaten van monstername en de diepte weergegeven waarbij _s verwijst naar de start en _h naar het einde van de vistrek.

Locatie code	Nr	Nat gewicht	Breedtegraad_s	Breedtegraad_h	Lengtegraad_s	Lengtegraad_h	Water_diepte_s	Water_diepte_h
25	2	2.985	53.0023	53.00288	4.91735	4.9352	5	5.3
26	2	2.610	52.97563	52.9634	4.92822	4.9306	5	7.7
26	3	3.070	52.97563	52.9634	4.92822	4.9306	5	7.7
29	2	2.520	52.94962	52.95202	5.01633	4.998	3	2.9
29	3	2.535	52.94962	52.95202	5.01633	4.998	3	2.9

Van kleinere deelmonsters werd het droog- en asgewicht bepaald:

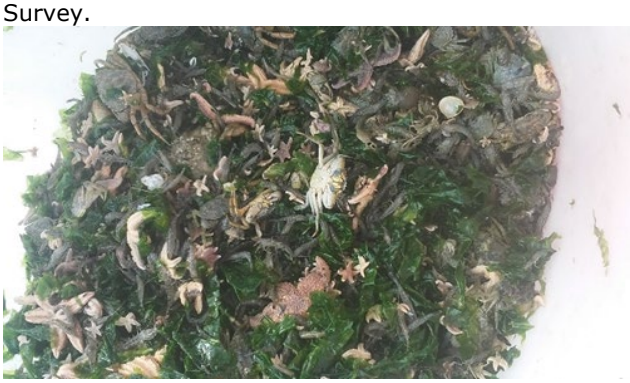
Samplecode	Natgewicht	droog/nat	AFDW/nat	As/droog	AFDW/droog
DFS1825 1	141.85	24.7%	12.3%	50.2%	49.8%
DFS1828 1	101.59	18.3%	12.9%	29.5%	70.5%
DFS1829 5	206.6	18.7%	13.9%	25.6%	74.4%
DFS1826 1	122.03	24.4%	18.1%	25.8%	74.2%
DFS1827 4	202.6	16.5%	11.7%	29.0%	71.0%
DFS1823 1	184.66	16.7%	10.5%	37.5%	62.5%
DFS1827 1	128.87	21.5%	16.4%	23.9%	76.1%
DFS1824 1	146.08	15.6%	11.2%	28.3%	71.7%
DFS1824 2	204.2	15.3%	11.3%	26.2%	73.8%
DFS1827 5	94.22	18.0%	12.3%	31.8%	68.2%
DSF1827 6	226.3	20.0%	13.0%	35.0%	65.0%

Totalen	gemiddelde:	**19%**	**13%**	**31%**	**69%**
	mediaan:	18.3%	12.3%	29.0%	71.0%

Het drooggewicht van de monsters is ongeveer 19% en varieert tussen 15 en 25%. Het asvrijdrooggewicht is ongeveer 13%.

Op deze pagina foto’s van de monstername en sortering van het zeesla.

Zeesla in het net tijdens de Demersal Fish Survey.



Ruw vangst waarbij de vis als is weggehaald

Spoelen voor het verwijderen van zand en slib

Viskrat met zeesla voor transport

Bijlage 3 Correlatie zeesla en vis

Een Pearson correlatiematrix van dichtheden van geselecteerde vissen en benthos (soorten en groepen van soorten) en zeesla werd geproduceerd met behulp van het Hmisc (Harrell Miscellaneous) r-pakket (versie 4.4-0). Dichtheidsschattingen op basis van bodemtrawls binnen de DFS-inventarisatie 2018 en 2019 werden gebruikt, waarbij zowel zeesla als 16 soorten vis en benthos en / of groepen soorten werden geselecteerd omdat ze veel in de Waddenzee voorkomen en relevant waren met betrekking tot bodemhabitat. De groepen waren: bot, botervis, grondels, haring, harnasmannetje, puitaal, schol, slakdolf, steenbolk, tong, vijfdradige meun, wijting, zandspieringen, zeenaalden, zeedonderpad en zwemkrabben. De gebruikte dichtheidseenheden voor vis en benthos waren aantallen per hectare, terwijl de eenheid voor zeesla biomassa (natgewicht) was g / m^2. Voorafgaand aan de analyse werden de dichtheden ln-getransformeerd. De resulterende correlatiecoëfficiënten geven zowel de sterkte van de relatie als de richting aan (positieve versus negatieve correlaties).

	Bot	Botervis	grondels	Haring	Harnasmannetje	Puitaal	Schol	Slakdolf	Steenbolk	Tong	Vijfdradige meun	Wijting	zandspieringen	Zeedonderpad	zeenaalden	Zeesla unident	zwemkrabben
Bot																	
Botervis	0																
grondels	0.18	0.09															
Haring	0.27	-0.08	0.15														
Harnasmannetje	0.05	0.27	0.18	-0.06													
Puitaal	0.28	0.22	0.01	0.11	-0.09												
Schol	0.34	0.11	0.2	0.23	0.22	0.25											
Slakdolf	-0.07	0.1	0.05	0.03	0.36	0	0.11										
Steenbolk	0.05	0.17	0	0.02	0.05	0.05	0.13	-0.08									
Tong	0.5	0.06	0.2	0.1	0.25	0.28	0.37	0.08	0.19								
Vijfdradige meun	0.28	0.16	0	0.07	0.33	0.09	0.3	0.3	0.16	0.47							
Wijting	0.09	0.1	0.02	0.07	0.37	-0.1	0.41	0.15	0.3	0.27	0.46						
zandspieringen	-0.04	-0.07	-0.1	0.04	-0.03	-0.07	0.04	-0.04	0.2	-0.03	0.04	0.06					
Zeedonderpad	0.15	0.25	0.17	0.04	0.26	0.4	0.22	0.16	0.13	0.24	0.09	0.14	-0.06				
zeenaalden	-0.19	0.04	-0.21	-0.17	0.08	0.05	-0.07	0	-0.04	-0.11	0	0.04	-0.13	-0.02			
Zeesla	-0.07	0.17	-0.17	-0.18	-0.09	0.2	-0.06	-0.09	-0.01	0.01	0.01	-0.12	-0.08	0.16	0.27		
zwemkrabben	-0.1	0.11	0.27	-0.07	0.33	-0.13	0.12	0.08	0.23	0.1	0.13	0.35	0.12	0.08	-0.07	-0.07	

Wageningen Marine Research
T: +31 (0)317 48 09 00
E: marine-research@wur.nl
www.wur.nl/marine-research

Bezoekers adres:
- Ankerpark 27 1781 AG Den Helder
- Korringaweg 7, 4401 NT Yerseke
- Haringkade 1, 1976 CP IJmuiden

Wageningen Marine Research levert met kennis, onafhankelijk wetenschappelijk onderzoek en advies een wezenlijke bijdrage aan een duurzamer, zorgvuldiger beheer, gebruik en bescherming van de natuurlijke rijkdommen in zee-, kust- en zoetwatergebieden.

Wageningen Marine Research is onderdeel van Wageningen University & Research. Wageningen University & Research is het samenwerkingsverband tussen Wageningen University en Stichting Wageningen Research en heeft als **missie**: 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'